



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
People's Democratic republic of Algeria  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم  
Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculty of Sciences and Technology  
قسم هندسة الطرائق  
Department of Process Engineering



**Department of Process Engineering**

**قسم هندسة الطرائق**

**Date :**

**التاريخ:**

**Ref :...../U.M/F.S.T./2023**

**رقم : ..... / ج .م / ك.ع.ت/2023**

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

### **MASTER ACADEMIQUE**

**Filière : Génie des procédés**

**Option : Génie Chimique**

**Thème**

**Elimination des colorants par énergie solaire**

Présenté par

**TOUMI SELMA**

Soutenu le 08/06/ 2023 devant le jury composé de :

Président :	MANA Mohamed	Grade : Prof.	Université de Mostaganem
Examineur :	BENZEKRI M. Benallou	Grade : M.C.A.	Université de Mostaganem
Encadrant (e) :	BENDERDOUCHE Nouredine	Grade : Prof.	Université de Mostaganem

Année Universitaire 2022/2023

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*A ma MERE, ce travail est le fruit de tes efforts et l'aboutissement de tes nombreuses nuits de prières.*

*A mon PERE, pour m'avoir soutenue moralement, matériellement et financièrement jusqu'à ce jour.*

*A mon frère Youcef et ma sœur Ikram pour leurs appuis et leurs encouragements.*

*A tous mes collègues et amies pour leurs conseils et leur soutien précieux.*

*A toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin.*

*Selma*

## Remerciements

*En premier lieu, nous remercions notre DIEU, notre Créateur pour nous avoir donné la force d'accomplir ce travail.*

*Mes premiers remerciements vont à mon encadrant de mémoire, le Pr : BENDERDOUCHE Nouredine. Je le remercie pour tous les efforts qu'il a déployés dans la supervision de ce travail, pour sa contribution substantielle dans l'analyse et l'interprétation des résultats, des corrections du manuscrit, des encouragements et des conseils qu'il n'a cessé de me prodiguer.*

*Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à cette étude, en particulier le Professeur Mana Mohamed, qui m'a dirigé et pour son aide pratique.*

*Je remercie les membres de jury qui ont bien voulu accepter d'examiner ce mémoire et à cet égard, je leur présente mes profonds respects, et ma grande gratitude.*

*Mes remerciements vont aussi à tous les enseignants du Département de Génie des procédés pour nous avoir suivis le long de notre cursus universitaire.*

*Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

**Selma**

### ملخص

في هذا العمل تم استخدام آلة التقطير الشمسي المنحدرة لغرض التخلص من الصبغتين الاساسيتين وهما الميثيلين الأزرق والردامين ب ولاستعادة الماء المقطر، ودرسنا تأثير ظروف الأرصاد الجوية على أداء الجهاز، أخذنا عينات 20 مل من نواتج التقطير كل ساعة وقمنا بتحليل الموصلية ودرجة الحموضة، نلاحظ في نواتج التقطير أن الامتصاص منخفض جدًا والنسبة المئوية للفصل تقارب 100٪ لذلك هناك فصل جيد جدًا وتم إثبات كفاءة أجهزتنا، النتائج التجريبية التي حصلنا عليها مشجعة لاستخدام اللقطات الشمسية لمعالجة مياه الصرف الصناعي وحل بعض المشاكل الناجمة عن نقص المياه الكلمات المفتاحية: آلة التقطير الشمسي، الصبغتين الاساسيتين، ظروف الأرصاد الجوية، أداء الجهاز، نواتج التقطير

### Abstract

In this work we have used a single slope solar still for the purpose of separating two cationic dyes, which are Methylene blue and Rhodamine B from their aqueous solutions. We studied the influence of meteorological conditions on the performance of the apparatus. Samples of 20 mL of condensate were analyzed each hour for conductivity, pH and concentration. The results show that the dye concentration of the condensates was very low with almost 100% separation achieved. This technique may prove very useful for the treatment of dye-laden effluents. The experimental results we have obtained are encouraging for the use of solar stills to treat industrial wastewater and solve some problems caused by water shortage.

Key words: solar still, cationic dyes, meteorological conditions, performance, condensate

### Résumé

Dans ce travail, nous avons utilisé un distillateur solaire à pente unique dont le but de séparer deux colorants cationiques, qui sont le Bleu de méthylène et la Rhodamine B de leurs solutions aqueuses. Nous avons étudié l'influence des conditions météorologiques sur le rendement de l'appareil. Des échantillons de 20 mL de condensat ont été prélevés chaque heure et analysés afin d'en déterminer la conductivité, le pH et la concentration. Les résultats montrent que la concentration en colorant des condensats est très faible et que le pourcentage de séparation est presque 100%. Cette technique peut s'avérer efficace dans le traitement des effluents chargés en colorants. Les résultats expérimentaux que nous avons obtenus sont encourageants pour l'utilisation des distillateurs solaires pour traiter les eaux usées industrielles et résoudre certains problèmes causés par l'insuffisance d'eau.

Mots clés : distillateur solaire, colorants cationiques, conditions météorologiques, rendement, condensat

Liste des figures

Figure I. 1 : Exemple de colorant triphénylméthane .....	4
Figure I. 2 : Exemple de colorant indigoïde .....	4
Figure I. 3 : Exemple de colorant xanthène .....	4
Figure I. 4 : Exemple de colorant phtalocyanine .....	5
Figure I. 5 : Exemple de colorant nitré.....	5
Figure I. 6 : Le bleu de méthylène .....	8
Figure I. 7 : Structure de la rhodamine B .....	10
Figure II. 1 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan horizontal durant la période 1992-2002 .....	15
Figure III. 1 : Procédure de centrifugation .....	19
Figure III. 2 : Principe de fonctionnement d'une chaîne HPLC .....	20
Figure III. 3 : Extraction liquide-liquide .....	21
Figure III. 4 : Schéma d'une simple distillation.....	22
Figure III. 5 : Schéma d'une distillation fractionnée .....	22
Figure III. 6 : Distillateur solaire simple à pente unique.....	24
Figure III. 7 : Distillateur à double pente .....	25
Figure III. 8 : Solaire terre-eau.....	25
Figure III. 9 : Distillateur solaire sphérique .....	26
Figure III. 10 : Principe d'un système d'évaporateurs multiples effets .....	26
Figure III. 11 : Distillateur solaire à film capillaire .....	27
Figure III. 12 : Distillateur à cascade .....	27
Figure III. 13 : Distillateur solaire à mèche.....	28
Figure III. 14 : Distillateur solaire verticale .....	29
Figure IV. 1 : Schéma de distillateur solaire étudié .....	32
Figure IV. 2 : Schéma de conductimètre utilisé .....	33
Figure IV. 3 : Schéma de spectrophotomètre utilisé .....	34
Figure IV. 4 : Le condensat avant le test des ions chlorure par nitrate d'argent.....	35
Figure IV. 5 : Le condensat après le test des ions chlorure par nitrate d'argent .....	36
Figure V. 1 : Rendement horaire du distillateur pour deux journées de conditions météo différentes (BM 100 mg/L) .....	39
Figure V. 2 : Rendement horaire du distillateur à 14h .....	40
Figure V. 3 : La conductivité électrique du condensat à 14h.....	43
Figure V. 4 : Courbe d'étalonnage de BM et Rh-B .....	45
Figure V. 5 : UV-Visible (BM et mélange) .....	46

**Liste des tableaux**

Tableau I. 1 : Les colorants distinctifs utilisés dans les opérations de coloration du textile.....	6
Tableau I. 2 : Propriétés physico-chimiques du bleu de méthylène.....	8
Tableau I. 3 : Propriétés de la Rhodamine B .....	10
Tableau II. 1 : Composition massique du soleil .....	12
Tableau III. 1 : Technologies de traitement et de séparation mises en œuvre pour les colorants synthétiques.....	17
Tableau V. 1 : Rendement de l'appareil en fonction des conditions météorologiques pour le BM à 100 mg/L .....	37
Tableau V. 2 : Rendement de l'appareil en fonction des conditions météorologiques à 14h pour le BM à 100 mg/L.....	38
Tableau V. 3 : Rendement de l'appareil pour différentes concentrations des colorants à 14h et conditions météo .....	39
Tableau V. 4 : Rendement en condensat versus les conditions météorologiques du mélange à 14 h.....	40
Tableau V. 5 : Conductivité électrique du condensat (BM et Rh-B) .....	41
Tableau V. 6 : Variation de la température ambiante lors de la manipulation.....	41
Tableau V. 7 : Conductivité du condensat (Mélange).....	42
Tableau V. 8 : Variation de la température ambiante lors de la manipulation (Mélange) .....	42
Tableau V. 9 : Le pH du condensat (BM et Rh-B) .....	43
Tableau V. 10 : pH du condensat (Mélange) .....	44
Tableau V. 11 : Absorbances obtenues pour l'établissement de la courbe d'étalonnage de BM et Rh-B .....	45
Tableau V. 12 : Efficacité de la séparation à 14 h (BM et Rh-B) .....	46

## Listes des abréviations et symboles

Abréviation/ symbole	Titre	Unité
BM	Bleu de méthylène	/
Rh-B	Rhodamine B	/
$I_d$	Le rayonnement solaire direct	/
$I_f$	Le rayonnement solaire diffus	/
G	Le rayonnement solaire global	/
$I_0$	Constante solaire	W/m <sup>2</sup>
$\lambda$	Longueur d'onde	nm
t	Temp	Heure
Tamb	Température ambiante	°C
Tvit-ex	Température de la vitre externe	°C
Ref-Eolien	Refroidissement éolien	/
V-vent	Vitesse de vent	km/h
Direct Vent	Direction de vent	/
P-rosée	Point de rosée	/
P	Pression	hPa
$X_D$	Conductivité de distillat	$\mu$ S/Cm
A	Absorbance	/
C	Concentration	mg/L
pH <sub>D</sub>	pH de distillat	/
R	Rendement	mL/(m <sup>2</sup> .h)

## Listes des abréviations et symboles

V <sub>lu</sub>	Volume lu	mL
V <sub>retr</sub>	Volume retranché	mL
V <sub>D</sub>	Volume de distillat	mL



## Sommaire

Dédicaces.....	I
Remerciements .....	II
ملخص.....	III
Abstract .....	III
Résumé.....	III
Liste des figures .....	IV
Liste des tableaux .....	V
Listes des abréviations et symboles .....	VI
Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur les colorants.....	2
Partie I : Généralités sur les colorants .....	2
I.1.Historique des colorants.....	2
I.2. Définition d'un colorant.....	2
I.3.Classification des colorants.....	3
I.3.1. Classification chimique .....	3
a) Les colorants azoïques .....	3
b) Les colorants anthraquinoniques.....	3
c) Les colorants triphénylméthanes.....	3
d) Les colorants indigoïdes .....	4
e) Les colorants xanthènes .....	4
f) Les phtalocyanines .....	5
g) Les colorants nitrés et nitrosés .....	5
I.3.2. Classification tinctoriale.....	5
I.4.Utilisation et applications des colorants .....	6
I.5.Toxicité des colorants .....	6
I.5.1. Toxicité sur la santé humaine.....	6
I.5.2. Toxicité et impact environnemental .....	7
Partie II : Les colorants étudiés .....	7
I.6. Le Bleu de méthylène .....	7
I.6.1. Définition de bleu de méthylène (BM) .....	7
I.6.2. Propriétés physico-chimiques du bleu de méthylène .....	8
I.6.3. Domaines d'application du bleu de méthylène.....	9
I.6.4. Toxicité du bleu de méthylène .....	9
I.7. La Rhodamine B .....	10
I.7.1. Définition et utilisation de la Rhodamine B.....	10
I.7.2. Propriétés chimiques de la Rhodamine B .....	10

I.7.3. Toxicité de la Rhodamine B .....	11
<i>Chapitre II : l'énergie solaire et ses applications</i> .....	12
II.1. Le soleil .....	12
II.2. L'énergie solaire .....	13
II.3. Rayonnement solaire .....	13
II.3.1. Différents types de rayonnement solaire.....	13
a) Le rayonnement solaire direct ( $I_d$ ).....	13
b) Le rayonnement solaire diffus ( $I_f$ ).....	14
c) Le rayonnement solaire global ( $G$ ).....	14
II.4. Spectre solaire.....	14
II.5. Irradiation (gisement solaire).....	14
II.6. Les applications de l'énergie solaire.....	15
<i>Chapitre III : Techniques de séparation</i> .....	17
III.1. Méthodes de traitement et de séparation .....	17
III.1.1. Mélanges hétérogènes.....	19
III.1.1.1. Filtration .....	19
III.1.1.2. La centrifugation .....	19
III.1.1.3. La décantation .....	20
III.1.1.4. La sédimentation .....	20
III.1.2. Mélanges homogènes .....	20
III.1.2.1. Chromatographie.....	20
III.1.2.2. Extraction .....	20
III.1.2.3. Distillation.....	21
III.2. Historique de la distillation solaire.....	23
III.3. Définition de la distillation solaire .....	23
III.4. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire.....	23
III.5. Les différents types de distillateurs solaires .....	23
III.5.1. Distillateurs à simple effet .....	23
III.5.1.1. Distillateur à pente unique.....	24
III.5.1.2. Distillateur à double pentes .....	24
III.5.1.3. Distillateur solaire terre- eau .....	25
III.5.1.4. Distillateur sphérique à balayage .....	25
III.5.2. Distillateur à multiples effets.....	26
III.5.3. Distillateur solaire à film capillaire .....	27
III.5.4. Distillateur solaire à cascades .....	27
III.5.5. Distillateur solaire incliné à mèche .....	28
III.5.6. Distillateur solaire vertical.....	28

III.6. Paramètres influents sur la distillation solaire.....	29
III.6.1. Les paramètres atmosphériques.....	29
III.6.2. Les paramètre de construction.....	30
III.7. Caractéristiques du distillateur.....	31
<i>Chapitre IV : Matériel et méthodes</i> .....	32
IV.1. Matériel utilisé.....	32
IV.1.1. Principe de fonctionnement.....	32
IV.2. Méthodes.....	33
IV.2.1. Conductimétrie.....	33
IV.2.2. Spectrophotométrie UV-Visible.....	34
IV.2.3. Test des ions chlorure (Cl <sup>-</sup> ) par nitrate d'Argent (AgNO <sub>3</sub> ).....	35
<i>Chapitre V : Résultats et discussions</i> .....	37
V.1.Effet des conditions météorologiques sur le rendement horaire.....	37
V.1.1. Paramètres météorologiques et grandeurs physiques relatives au distillateur.....	37
V.2. Effet de la concentration initiale sur le rendement horaire.....	39
V.3. Conductivité électrique du condensat en fonction de la concentration en colorant.....	41
V.4. Influence de la concentration initiale sur le pH.....	43
V.5. Influence de concentration initiale (BM et Rh-B) sur l'efficacité de la séparation.....	44
V.5.1. Calcul de la concentration du condensat (BM et Rh-B).....	44
V.6. Spectre d'absorbance du BM à 50 mg/L et du mélange et des condensats.....	46
Conclusion.....	48
Références bibliographiques.....	49

# *Introduction Générale*

### **Introduction Générale**

L'eau est la matière première la plus importante sur notre planète, pour les êtres humains, les animaux, les plantes et les microorganismes. Pratiquement, tous les phénomènes vitaux de la biosphère sont liés à la disponibilité de l'eau [1].

En effet, les effluents industriels et agricoles contiennent souvent peu ou pas de polluants biodégradables. Leurs effets sur la faune et la flore sont très nocifs. Une sensibilisation accrue des acteurs socio-économiques et du grand public, accompagnée d'une réglementation stricte des émissions, contribuera à contrer cette tendance, permettant de préserver les ressources qui peuvent encore l'être.

Parmi les charges polluantes des eaux usées avant rejet dans le milieu naturel, l'industrie textile produit des rejets de colorants à forte charge dans le milieu récepteur sans aucun prétraitement entraînant une dégradation de l'environnement, ce qui explique les multiples efforts des chercheurs et scientifiques du monde entier pour mettre fin à ce danger qui menace notre environnement [2].

De ce fait, plusieurs méthodes biologiques, physiques et chimiques telles que la filtration sur des membranes, la biodégradation microbienne, l'ozonisation et l'oxydation ont été utilisées pour le traitement des effluents industriels [3, 4]. Néanmoins, beaucoup de ces techniques sont coûteuses, particulièrement lorsqu'elles sont appliquées aux effluents à haut débit. Nous avons utilisé une méthode simple et économique pour la séparation de colorants de leurs solutions aqueuses en utilisant l'énergie solaire.

Dans cette étude, deux colorants cationiques ont été choisis, le Bleu de méthylène et la Rhodamine B.

Le manuscrit s'étale sur cinq chapitres :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les colorants.

Le second chapitre porte sur l'énergie solaire et ses applications.

Le troisième chapitre est consacré à la séparation solaire.

Le quatrième chapitre porte sur les méthodes et les matériels utilisés.

Le dernier chapitre comporte les résultats obtenus et discussions.

Enfin, le mémoire est clôturé par une conclusion générale.

---

# **Chapitre I :**

# **Généralités sur**

# **les colorants**

---

### Partie I : Généralités sur les colorants

#### I.1. Historique des colorants

L'industrie des colorants synthétiques est née en 1856 quand le chimiste anglais W. H. Perkin, dans une tentative de synthèse de la quinine artificielle pour soigner la malaria, a obtenu la première matière colorante synthétique qu'il appela "mauve" (aniline, colorant basique). Perkin a breveté son invention et a installé une chaîne de production, qui serait bientôt suivie par d'autres. De nouveaux colorants synthétiques commencent à paraître sur le marché. Ce processus a été stimulé par la découverte de la structure moléculaire du benzène en 1865 par Kékulé. En conséquence, au début du 20<sup>ème</sup> siècle, les colorants synthétiques ont presque complètement supplanté les colorants naturels [5]. On dénombre environ 8000 colorants synthétiques chimiquement différents, répertoriés dans le Colour Index sous 40000 dénominations commerciales [6].

#### I.2. Définition d'un colorant

Un colorant est une matière colorée par elle-même, capable de se fixer sur un support. La coloration plus ou moins intense des différentes substances est liée à leur constitution chimique. En fait, un colorant est un corps susceptible d'absorber certaines radiations lumineuses et de réfléchir alors les couleurs complémentaires. Ce sont des composés organiques comportant dans leurs molécules trois groupes essentiels : le chromophore, l'auxochrome et la matrice. Le site actif du colorant est le chromophore, il peut se résumer à la localisation spatiale des atomes absorbant l'énergie lumineuse. Le chromophore est constitué de groupes d'atomes dont les plus classiques sont le nitro ( $-\text{NO}_2$ ), le diazo ( $-\text{N}=\text{N}-$ ), le nitroso ( $-\text{N}=\text{O}$ ), le thiocarbonyle ( $-\text{C}=\text{S}$ ), le carbonyle ( $-\text{C}=\text{O}$ ), ainsi que les alcènes ( $-\text{C}=\text{C}-$ ). L'absorption des ondes électromagnétiques par le chromophore est due à l'excitation des électrons d'une molécule. La molécule qui les contient devient chromogène. La molécule chromogène n'a des possibilités tinctoriales que par l'adjonction d'autres groupements d'atomes appelés «auxochromes». Ces groupes auxochromes permettent la fixation des colorants et peuvent modifier la couleur du colorant. Ils peuvent être acides ( $\text{COOH}$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{OH}$ ) ou basiques ( $\text{NH}_2$ ,  $\text{NHR}$ ,  $\text{NR}_2$ ). Le reste des atomes de la molécule correspond à la matrice, la troisième partie du colorant [7].

### I.3. Classification des colorants

Les colorants présentent une diverse structure considérable et ils sont classifiés de plusieurs manières, par leur structure chimique et par leur application au type de fibre. Les colorants peuvent être également classifiés suivant leur solubilité [8].

#### I.3.1. Classification chimique

##### a) Les colorants azoïques

Ils sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques. Cette catégorie de colorant est actuellement la plus répandue sur le plan de l'application, puisqu'ils représentent plus de 50% de la production mondiale de matières colorantes [9].

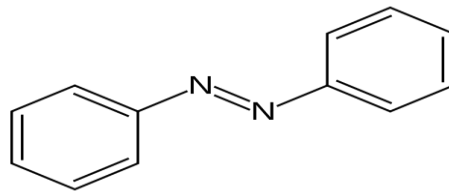


Figure 1 : Exemple de colorant azoïque

##### b) Les colorants anthraquinoniques

Ces colorants sont du point de vue commercial, les plus importants, après les colorants azoïques. Leur formule générale, dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyyles ou amino [10].

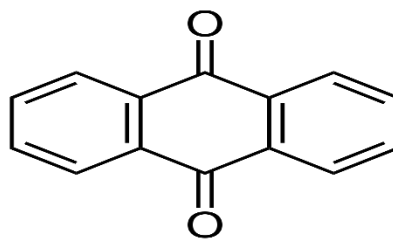


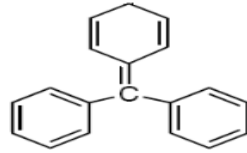
Figure 2 : Exemple de colorant anthraquinonique

##### c) Les colorants triphénylméthanés

Les colorants triphénylméthanés et leurs dérivés hétérocycliques constituent la plus ancienne classe de colorants synthétiques. Actuellement bien moins importants que les colorants azoïques et anthraquinoniques, ils ont conservé une certaine valeur commerciale, car ils permettent de couvrir la totalité de la gamme de nuances. Les triphénylméthanés sont utilisés



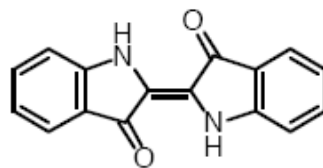
intensivement dans les industries papetières et textiles pour teindre le nylon, la laine, la soie et le coton. Leur utilisation ne se limite pas à l'industrie. On les retrouve également dans le domaine médical comme marqueur biologique et comme agent antifongique chez les poissons et la volaille [9].



**Figure I. 1 : Exemple de colorant triphénylméthane**

### d) Les colorants indigoïdes

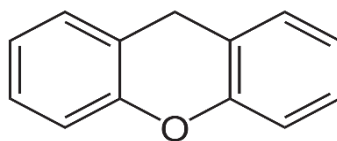
Les colorants indigoïdes tirent leur appellation de l'indigo dont ils dérivent. Ainsi, les homologues séléniés, soufrés et oxygénés du bleu indigo provoquent d'importants effets hypochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise [9].



**Figure I. 2 : Exemple de colorant indigoïde**

### e) Les colorants xanthènes

Les colorants xanthènes sont des composés qui constituent les dérivés de la fluorescéine halogénée. Ils sont dotés d'une intense fluorescence. Leur propriété de marqueurs lors d'accident maritime ou de traceurs d'écoulement pour des rivières souterraines est malgré tout bien établie. Ils sont aussi utilisés comme colorant en alimentaire, cosmétique, textile et impression [11].



**Figure I. 3 : Exemple de colorant xanthène**

### f) Les phtalocyanines

Les phtalocyanines ont une structure complexe possédant un atome métallique central. Les colorants de ce groupe sont obtenus par réaction du dicyanobenzène en présence d'un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.) [9].

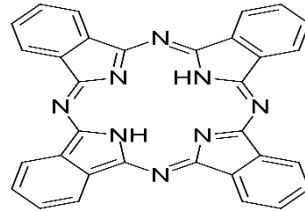


Figure I. 4 : Exemple de colorant phtalocyanine

### g) Les colorants nitrés et nitrosés

Ces colorants forment une classe de colorants très limitée en nombre et relativement ancienne. Ils sont actuellement encore utilisés, du fait de leur prix très modéré lié à la simplicité de leur structure moléculaire caractérisée par la présence d'un groupe nitro ( $-NO_2$ ) en position ortho d'un groupement électrodonneur (hydroxyle ou groupes aminés) [10].

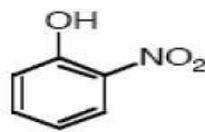


Figure I. 5 : Exemple de colorant nitré

### I.3.2. Classification tinctoriale

Si la classification chimique présente un intérêt pour le fabricant de matières colorantes, le teinturier préfère le classement par domaines d'application. Ainsi, il est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes. Dans le tableau I. 1, on représente les colorants distinctifs utilisés dans les opérations de coloration du textile [12].

**Tableau I. 1 : Les colorants distinctifs utilisés dans les opérations de coloration du textile**

Classe de colorant	Description
Acides	Composés anioniques, hydrosolubles
Basiques	Hydrosolubles, appliqués dans les bains de teinture faiblement acides ; colorants très lumineux
Directs	Composés hydrosolubles et anioniques ; peut être appliqué directement à cellulosique sans mordant (ou métaux comme le chrome et le cuivre)
Dispersés	Non hydrosolubles
Réactifs	Composés hydrosolubles et anioniques ; la classe la plus grande de colorants
Soufrés	Composés organiques contenant du soufre
de Cuve	Insoluble dans l'eau ; les colorants les plus anciens ; plus complexe chimiquement

### I.4. Utilisation et applications des colorants

Les colorants peuvent être impliqués dans différents domaines tels que [13] :

- L'industrie textile de la fourrure, du cuir (textile à usage vestimentaire, de décoration, de bâtiment, de transport, textile à usage médicale ...).
- L'industrie de matières plastiques.
- L'industrie du bâtiment : peintures, matériaux de construction, céramique, ...
- L'industrie pharmaceutique et dans l'industrie des cosmétiques.
- L'imprimerie (encre, papier).
- L'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires).

### I.5. Toxicité des colorants

#### I.5.1. Toxicité sur la santé humaine

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés et ont montré que les colorants sont :

- Génotoxiques ;
- Mutagènes ;

- Peuvent entraîner des cancers de la thyroïde ;
- Peuvent entraîner des tumeurs des glandes surrénales ;
- Contiennent des substances cancérigènes ;
- Peuvent avoir des actions sur le système nerveux central ;
- Inhibent certaines enzymes ;
- Augmentent la perméabilité intestinale [14].

### **I.5.2. Toxicité et impact environnemental**

Les rejets d'effluents des industries textiles chargés en colorants, dans les rivières, peuvent nuire considérablement aux espèces animales, végétales ainsi qu'aux divers microorganismes vivant dans ces eaux. Cette toxicité peut provoquer la diminution de l'oxygène dissous dans ces milieux. De ce fait, ils peuvent persister longtemps, engendrant ainsi des perturbations importantes dans les différents mécanismes naturels existant dans la flore (pouvoir d'auto-épuration des cours d'eau, inhibition de la croissance des végétaux aquatiques) et dans la faune (destruction d'une catégorie de poissons, de microorganismes). Le traitement des effluents chargés en colorants s'avère donc indispensable pour la sauvegarde de l'environnement [10].

## **Partie II : Les colorants étudiés**

### **I.6. Le Bleu de méthylène**

#### **I.6.1. Définition de bleu de méthylène (BM)**

Le Bleu de Méthylène est un colorant réagissant spécifiquement avec une muqueuse, il permet d'une part de connaître un épithélium intestinal de siège anormal sur l'estomac ou l'œsophage d'autre part de mieux dessiner la muqueuse intestinale. On trouve le bleu de méthylène dans toutes les bonnes pharmacies, on peut l'avoir en cristaux ou en solution. Le Bleu de Méthylène est un antiseptique à faible action bactéricide et fongique, c'est un antidote contre l'empoisonnement à l'ammoniac et au nitrate.

C'est aussi un anti-stress, une goutte, lors de l'introduction de nouveaux poissons, peut éviter l'apparition de maladies dues au stress (lors du stress des points blancs apparaissent sur le poisson) [15].



Figure I. 6 : Le Bleu de méthylène

### I.6.2. Propriétés physicochimiques du Bleu de méthylène

Le tableau suivant regroupe quelques propriétés du Bleu de méthylène.

Tableau I. 2 : Propriétés physicochimiques du Bleu de méthylène

Dénomination	Bleu de méthylène ou chlorure de tétraméthylthionine, Basic blue 9 (C.I.)
Appellation chimique	Chlorure de 3,7- bis (diméthylamino) Phénazathionium
Famille	Colorant basique
Formule brute	$C_{16}H_{18}ClN_3S$
Masse molaire (g/mol)	319,85
Solubilité dans l'eau (g/L) à 20°C	40
Point de fusion (°C)	190
pH	5,9
pKa	3,8
$\lambda_{max}$ (nm)	665
Structure	

### I.6.3. Domaines d'application du Bleu de méthylène

Les principaux domaines d'application du bleu de méthylène sont [16] :

- Teinture de la soie et de la laine (0,3 à 2% environ), des fibres cellulosiques.
- Cuirs et peaux (remontage des nuances).
- Coloration du papier dans la masse, au trempé (papier crépon), par pulvérisation.
- Teintes à l'alcool.
- Coloration de produits chimiques : acide sulfurique (jusqu'à 20 g/L), acide acétique (pur ou dilué), acide phosphorique, acide formique...
- Marquages de produits chimiques cationiques ou non ioniques (10 à 100 g/m<sup>3</sup>).
- Réactif de laboratoire et d'analyse médicale.
- Coloration fugace de poudres destinées à la cuisson (le colorant disparaît à la chaleur).
- Produits phytosanitaires.
- Aquariophilie : traitement de la maladie des points blancs des poissons (ichthyol), à raison de 0,5 à 2 mg/L d'eau maximum.

### I.6.4. Toxicité du bleu de méthylène

Les données toxicologiques relatives à l'utilisation du bleu de méthylène chez l'homme depuis de nombreuses années ont indiqué jusqu'à présent l'absence de danger lié à l'utilisation de ce produit comme médicament dont la dose totale administrée ne doit pas dépasser 7 mg/kg. Il peut causer des douleurs thoraciques, une dyspnée ; une anxiété, des tremblements, des hypertensions, et même coloration de la peau si la dose est élevée. Le bleu de méthylène n'est pas fortement dangereux, mais il a un effet nocif sur les organismes vivants et les eaux.

L'exposition aigue à ce produit causera : une exposition externe : irritation de la peau et des dommages permanents aux yeux ; ou par l'inhalation : respiration rapide ou difficile et augmentation de la fréquence cardiaque ; ou bien par l'ingestion : irritation de l'appareil gastro-intestinal, nausée, transpiration prodigue, confusions mentales, cyanose et nécrose des tissus humains [17, 18].

## I.7. La Rhodamine B

### I.7.1. Définition et utilisation de la Rhodamine B

La Rhodamine B est un composé organique utilisé pour ses pouvoirs de coloration. Elle absorbe vers 554 nm.

La Rhodamine B est un colorant nocif en cas d'ingestion, irritant pour les voies respiratoires et la peau. Elle peut provoquer des lésions oculaires graves en cas de contact avec les yeux.

Elle est très utilisée dans l'industrie textile comme colorant et se retrouve dans les eaux industrielles polluant ainsi l'environnement. C'est une molécule très utilisée comme modèle dans les études de traitement des eaux en particulier avec les procédés d'oxydation avancés [19].

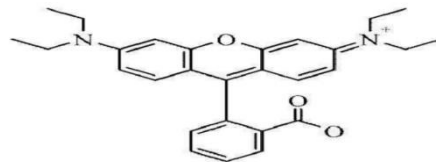


Figure I. 7 : Structure de la rhodamine B

### I.7.2. Propriétés chimiques de la Rhodamine B

Quelques propriétés de la Rhodamine B sont résumées dans le Tableau I. 3.

Tableau I. 3 : Propriétés de la Rhodamine B [19]

Identification du produit		Propriétés physique et chimiques
Formule chimique	$C_{28}H_{31}N_2O_3Cl$	Aspect : Solide vert Couleur : rouge Odeur : inodore Solubilité dans l'eau : 34 g/L Solubilité dans l'éthanol : Parfaitement soluble Densité : 0,79 g/cm <sup>3</sup> à 20°C pKa : 3,7 Coefficient d'absorption molaire $\epsilon$ (L mol <sup>-1</sup> cm <sup>-1</sup> ) :
Abréviation	RhB	
Autre nom (IUPAC)	N-(carboxyphenyl), 6-(diethylamino) -3hxanthen-3-ylide diethylammonium chloride	
Numéro CAS	81-88-9	
Masse moléculaire	479,01	

		$1,15 \times 10^5$ à pH 7 $\lambda_{\max}$ (nm) : 551-555
--	--	--

### I.7.3. Toxicité de la Rhodamine B

La Rhodamine B est nocive en cas d'ingestion par les êtres humains et les animaux, et provoque une irritation de la peau, des yeux et voies respiratoires, en raison d'effets multiples sur la santé humaine, certains pays ont légiféré et interdit son application. Les Etats-Unis : les « couleurs dans les règlements alimentaires » ont classé la Rhodamine B comme un colorant illégal en raison de la nature dangereuse de la Rhodamine B. Quand ces substances s'accumulent dans le corps au fil du temps, elles peuvent même causer le cancer. L'administration des aliments et des médicaments FDA, a maintenant réglementé l'utilisation de rhodamine B des industries cosmétiques, en raison de sa carcinogénèse [20].



---

*Chapitre II :*  
*l'énergie solaire et*  
*ses applications*

---

### II.1. Le soleil

Le soleil est une étoile de forme pseudo sphérique de gaz chauds, de 1 392 106 km de diamètre et de masse  $2,1027 \times 10^{30}$  kg (soit 333.000 fois la masse de la Terre) ; il est situé à une distance moyenne de 149 597 870 km de la terre, si la température à la photosphère du soleil est de 5760 K, il n'en est pas de même pour la température en son cœur qui avoisine les 15 millions de Kelvin. Les réactions thermonucléaires de fusion internes constituent la source d'énergie du soleil et provoquent le dégagement d'une énergie rayonnante selon la réaction suivante :



À chaque seconde  $9 \times 10^{37}$  protons se fusionnent ainsi pour libérer  $3,9 \times 10^{26}$  joules d'énergie, on sait maintenant que le soleil est essentiellement composé d'hydrogène [H] à 73,50 % (en masse) et d'hélium [He] à 24,90 %, le reste soit environ 1,6 % est composé d'au moins 60 autres atomes comme détaillé dans le tableau suivant [21] :

**Tableau II. 1 : Composition massique du soleil**

Composition du Soleil (% en masse)	
Hydrogène	73,50
Hélium	24,90
Oxygène	0,77
Carbone	0,29
Fer	0,16
Néon	0,12
Azote	0,09
Silicium	0,07
Magnésium	0,05
Soufre	0,04

### II.2. L'énergie solaire

L'énergie solaire est l'origine de la vie sur terre, c'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, des ondes radio aux rayons gamma en passant par la lumière visible, tous ces rayonnements sont constitués des photons, les composants fondamentaux de la lumière et les vecteurs de l'énergie solaire. Cela vient de réactions de fusion nucléaire qui animent le soleil [22].

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, estimée à  $3,7 \times 10^{26}$  J/s [22].

L'énergie totale envoyée par le soleil à la limite de l'atmosphère terrestre sur une surface de 1 m<sup>2</sup> placée perpendiculairement à la direction du rayonnement est environ 1367 W/m<sup>2</sup> (la valeur moyenne). Cette grandeur est appelée constante solaire  $I_0$  [23].

### II.3. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'ensemble des ondes électromagnétiques émises par le soleil. Il est composé de toutes les gammes de rayonnements, le soleil fournit à la terre un rayonnement dans un intervalle de longueur d'onde  $\lambda$  varie de 0,22 à 10  $\mu\text{m}$ , généralement décomposés de trois catégories comme suivantes [24] :

- 9% à la bande des ultraviolets (UV) (<0,4  $\mu\text{m}$ ).
- 47% à la bande visible (Visible) (0,4 à 0,8  $\mu\text{m}$ ).
- 44% à la bande des infrarouges (IR) (> 0,8  $\mu\text{m}$ )

#### II.3.1. Différents types de rayonnement solaire

Le rayonnement solaire qui arrive au sol se décompose en deux parties : L'une provient directement du soleil (direct), l'autre a été diffusée par l'atmosphère (diffus). L'atmosphère et la terre possèdent également un rayonnement propre. La connaissance de ces divers rayonnements permet d'établir un bilan radiatif du système terre- atmosphère [25].

#### a) Le rayonnement solaire direct ( $I_d$ )

C'est la fraction du rayonnement solaire qui arrive directement au sol, dont le trajet est « linéaire » (il y a, en fait, de légères déviations) et unique à un instant donné.

### b) Le rayonnement solaire diffus ( $I_f$ )

C'est une partie du rayonnement du soleil qui a subi de multiples réflexions (dispersion) par les molécules et les aérosols de l'atmosphère ; pour un observateur au sol, le rayonnement diffus est un ensemble des directions rayonnées

### c) Le rayonnement solaire global ( $G$ )

C'est l'ensemble du rayonnement d'origine solaire qui parvient sur une surface horizontale sur le globe terrestre. Il comprend donc la composante verticale du rayonnement solaire direct et rayonnement solaire diffus.

$$G = I_d + I_f$$

## II.4. Spectre solaire

Le spectre solaire et la distribution spectrale en fonction de la longueur d'onde ( $\lambda$ ) ou de la fréquence ( $\nu$ ).

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde qui varie entre de 0,22 à 10  $\mu\text{m}$ .

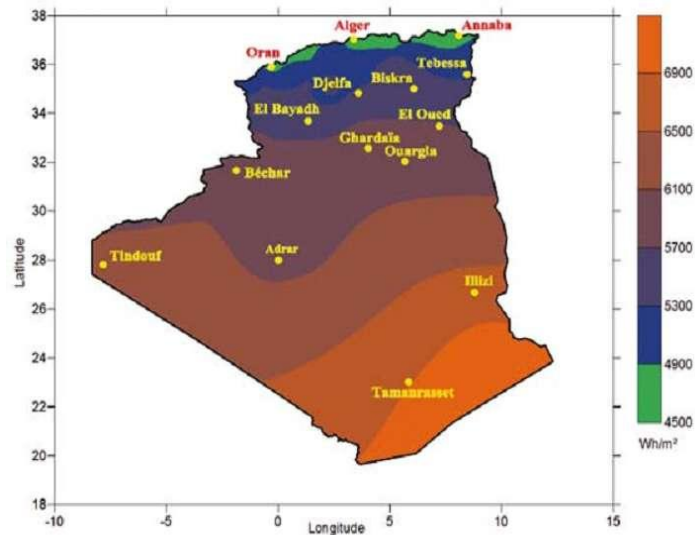
La Figure II.1 représente la variation de la répartition spectrale énergétique. L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 6,4% dans la bande des ultraviolets ( $0,20 < \mu < 0,38 \mu\text{m}$ ).
- 48% dans la bande visible ( $0,38 < \mu < 0,78 \mu\text{m}$ ).
- 45,6% dans la bande des infrarouges ( $0,78 < \mu < 10 \mu\text{m}$ ) [26].

## II.5. Irradiation (gisement solaire)

L'irradiation solaire est l'énergie lumineuse de l'ensemble du disque du soleil frappant un mètre carré chaque seconde. Or généralement, dans les stations météorologiques le rayonnement solaire global est mesuré sur des surfaces horizontales et sur le chef-lieu de chaque région.

La durée d'insolation dans le Sahara Algérien est de l'ordre de 3500 h/an et est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8 h/j et peut arriver jusqu'à 12 h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6 h/j en période estivale, et aussi la région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie [22].



**Figure II. 1 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan horizontal durant la période 1992-2002**

### II.6. Les applications de l'énergie solaire

Contrairement aux autres sources d'énergie, les énergies renouvelables permettent de produire, avec une technologie généralement peu complexe, une énergie « décentralisée » et générant peu d'impacts sur l'environnement : l'énergie solaire est une des énergies les plus facilement exploitables ; elle est en outre abondante, inépuisable et non polluante, ce sont ces caractéristiques qui ont suscité l'intérêt à ce type d'énergie, malgré le coût d'exploitation lourd au départ, ce qui fait qu'elle n'est pas totalement gratuite. L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est à l'origine de la quasi-totalité des sources d'énergies utilisées par l'homme [27].

L'exploitation de l'énergie solaire par l'homme permet de la scinder en deux principales branches :

- L'énergie solaire photovoltaïque : Qui consiste à transformer une partie des rayons du soleil en électricité au moyen d'une cellule photovoltaïque [28].
- L'énergie solaire thermique : Qui consiste plutôt à exploiter la chaleur dégagée par ces rayons solaires pour diverses utilisations :
  - Pour un usage direct : chauffe-eau, chauffage solaire, fours solaires, cuisinières et sécheuses solaires, le dessalement de l'eau (distillation solaire) [29].

## *Chapitre II : l'énergie solaire et ses applications*

- Pour un usage indirect : La chaleur utilisée ici, sert pour un second usage. On parle d'énergie solaire thermodynamique [30].

---

*Chapitre III :*  
*Techniques de*  
*séparation*

---

### III.1. Méthodes de traitement et de séparation

Le traitement des rejets de colorants peut se faire par le biais de plusieurs procédés : coagulation/ floculation suivi d'une filtration, oxydation chimique, adsorption et traitement biologique. Le Tableau III.1 regroupe les avantages et les inconvénients principaux des procédés classiques utilisés pour le traitement des colorants [31].

**Tableau III. 1 : Technologies de traitement et de séparation mises en œuvre pour les colorants synthétiques**

Technologie	Exemples	Avantages	Inconvénients
<b>Coagulation– Floculation</b>	Al(OH) <sub>3</sub> Ca(OH) <sub>2</sub>  - FeCl <sub>3</sub>  - Polyélectrolytes	- Équipement simple  -Décoloration relativement rapide  -Réduction significative de la DCO	- Formation de boues  -Adjonction obligatoire de produits chimiques  -Fonctionnement onéreux  -Coagulants non réutilisables  -Réduction spécifique de la couleur  -Peu d'information sur la réduction de DBO et DCO
<b>Filtration sur membranes</b>	- Osmose inverse  - Nanofiltration  - Microfiltration  - Ultrafiltration	- Utilisation simple et rapide  - Pas d'addition de produits chimiques  -Faible consommation énergétique  -Réduction de la	-Investissement important  - Sélectif  -Encrassement rapide des membranes par colmatage  -Pré et post-



### Chapitre III : Techniques de séparation

		couleur -Traitement de grands volumes	traitements nécessaires
<b>Adsorption</b>	- Carbone activé  - Silice	- Réduction efficace de la couleur  - Technologie simple  - Faible coût d'utilisation pour certains adsorbants	- Investissements et coûts de fonctionnement élevés  - Lent et limité en volume  - Régénération onéreuse des adsorbants (voir impossible)  - Sélectif  - Formation de boues
<b>Oxydation Chimique</b>	- Ozone  - Réactif de Fenton  - Chloration	- Traitement de gros volumes  - Diminution nette de la coloration  - Décoloration rapide et efficace des colorants solubles et insolubles  - Opération simple  - Oxydant puissant  - Décoloration rapide et efficace	- Investissements et coûts de fonctionnement élevés  - Efficacité limitée pour certains colorants  - Sous-produits d'oxydation inconnus  - Coûts élevés  - Formation de sous- produits de chloration (trihalométhanes

			cancérogènes)
<b>Réduction chimique</b>	- Chlorure d'étain hydrosulfate de sodium	- Décoloration rapide et efficace des azoïques	- Formation d'amines aromatiques (Toxiques) -Dégradation incomplète

### III.1.1. Mélanges hétérogènes

#### III.1.1.1. Filtration

La filtration est une méthode de séparation des particules solides d'un milieu liquide à l'aide d'un matériau poreux. Il existe différents systèmes de filtration qui purifient l'eau à travers des médias filtrants. Les filtres, qui peuvent être constitués de sable, de tourbe, de charbon actif, de terre de diatomées ou d'autres matériaux, peuvent être utilisés seuls ou en combinaison pour filtrer l'eau et retenir les particules tout en favorisant la croissance des micro-organismes qui décomposent les polluants [32].

#### III.1.1.2. La centrifugation

La centrifugation est une opération de séparation mécanique dans laquelle deux à trois phases sont entraînées dans un mouvement de rotation par la force centrifuge. Il est possible de séparer deux phases liquides, une phase solide en suspension dans une phase liquide, ou encore deux phases liquides contenant une phase solide. Dans le cadre du traitement des déchets, elle permet de séparer les différentes étapes d'un traitement spécifique [33].

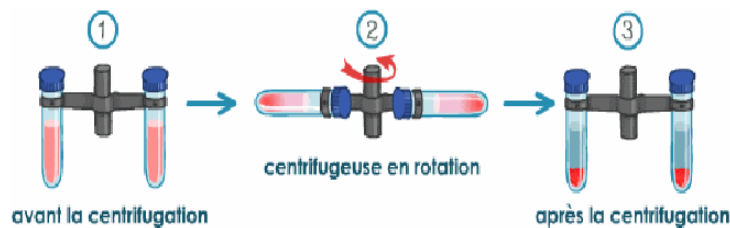


Figure III. 1 : Procédure de centrifugation

### III.1.1.3. La décantation

La décantation est un traitement essentiel pour l'obtention d'une eau de bonne qualité. Ce phénomène est assuré par voie physique, il s'opère par effet de gravité [34].

### III.1.1.4. La sédimentation

Permet l'élimination des matières en suspension présentes dans l'eau brute et celles formées par l'étape de coagulation floculation. Ceci provoque le dépôt des particules en suspension et la formation des boues au fond du bassin [34].

## III.1.2. Mélanges homogènes

### III.1.2.1. Chromatographie

La chromatographie est une méthode d'analyse physique basée sur la séparation des composants d'un mélange dans laquelle les différents composants appelés solutés sont séparés et entraînés par un fluide (liquide ou gaz) appelé phase mobile, qui interagissent ou non avec ce qui s'appelle la phase stationnaire. Les phases stationnaires interagissent les unes avec les autres, et la phase stationnaire produit un effet de retardement sur elles [35].

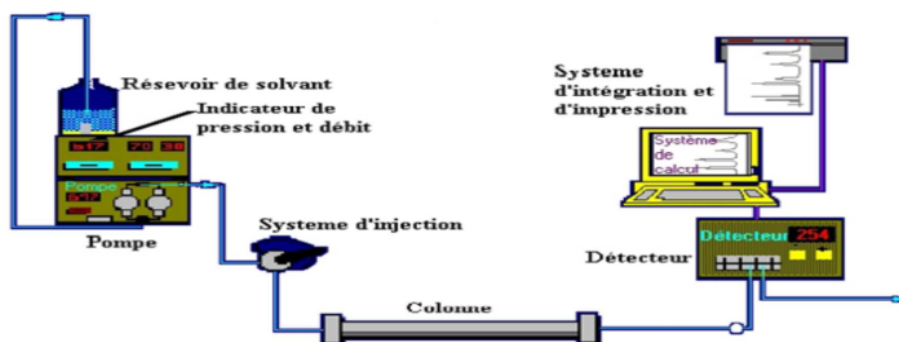


Figure III. 2 : Principe de fonctionnement d'une chaîne HPLC

### III.1.2.2. Extraction

L'extraction liquide-liquide est une opération qui permet la séparation d'un ou plusieurs composants en exploitant leur répartition inégale dans deux liquides pratiquement non miscibles.

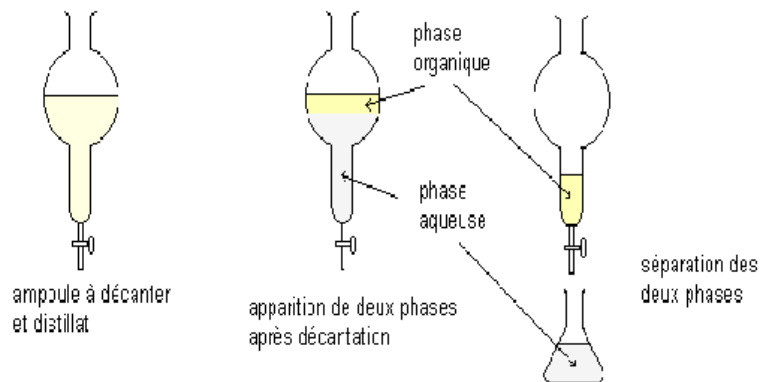
L'extraction liquide-liquide consiste à transférer une substance d'un solvant difficile à séparer à un autre qui peut être séparé.

Conditions d'extraction :

Les deux solvants doivent être non miscibles.

La substance à extraire doit être plus soluble dans le solvant d'extraction que dans le solvant d'origine.

La durée d'agitation est régie par la cinétique de transfert du soluté pour atteindre une concentration d'équilibre, tandis que la durée de décantation est déterminée par le temps de séparation des deux phases non miscibles. A l'équilibre, la phase aqueuse est appelée "raffinat" et la phase organique est appelée "extrait" [36].



**Figure III. 3 : Extraction liquide-liquide**

### III.1.2.3. Distillation

La distillation est la principale opération utilisée dans l'industrie pour séparer et purifier les mélanges liquides, elle utilise la différence de volatilité entre les produits mélangés et même mutuellement dissous dans la matière première pour utiliser la différence de point d'ébullition. Matériel. La distillation consiste à chauffer un mélange liquide de sorte que les composés les plus volatils soient évaporés en premier, la phase gazeuse est condensée et le liquide est récupéré (distillat), et la phase liquide non évaporée est le résidu (raffinat) [37].

Il existe deux types de distillation :

#### a) La distillation simple

La distillation simple a d'abord été utilisée pour purifier des solvants volatils ou des composés avec des points d'ébullition très variables.

Dans cette distillation, le ballon sert d'étage théorique, puisqu'il n'a pas de colonnes, il n'y a donc en réalité qu'un seul contact entre le liquide et la vapeur, à la surface du bouilleur.

Pour augmenter la pureté du distillat aux composés les plus volatils, le distillat doit être collecté et la simple distillation répétée plusieurs fois [38].

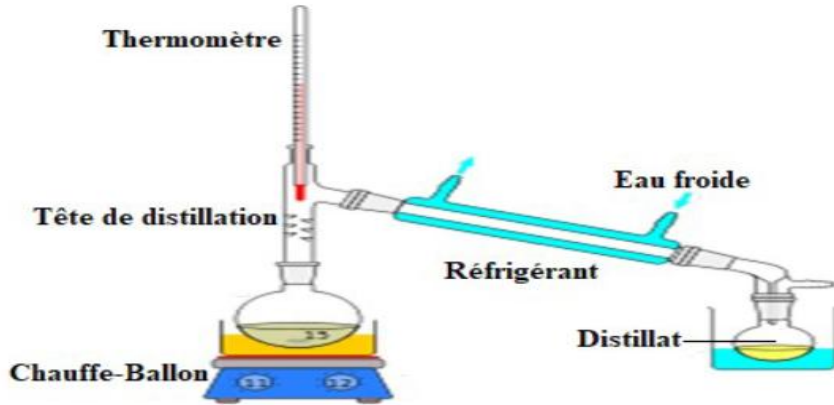


Figure III. 4 : Schéma d'une simple distillation

### b) La distillation fractionnée

La distillation fractionnée est le procédé de séparation des liquides par distillation fractionnée, qui permet de séparer les différents composants d'un mélange liquide lorsque les points d'ébullition sont suffisamment proches l'un de l'autre.

Cette opération est très consommatrice d'énergie et se caractérise par l'utilisation de colonnes de séparation, qui permettent une meilleure séparation des composants du mélange [39].

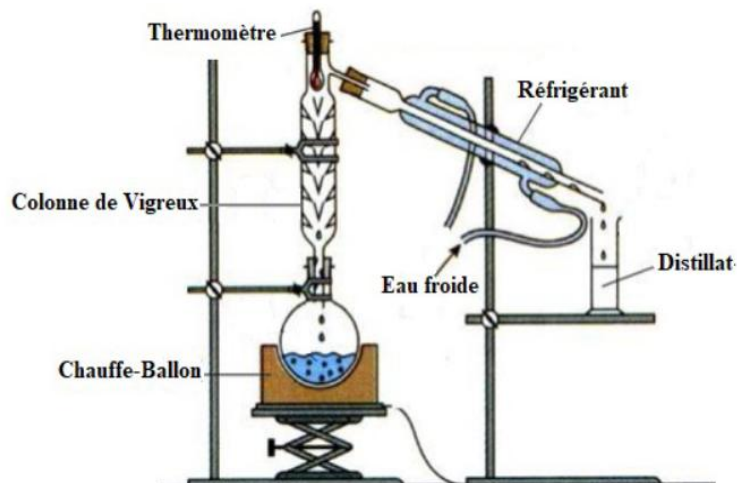


Figure III. 5 : Schéma d'une distillation fractionnée

Nous avons utilisé l'énergie solaire comme procédé de séparation efficace et économique.

### III.2. Historique de la distillation solaire

La distillation solaire a été utilisée depuis plusieurs siècles ; mais la plus grande réalisation est apparue en 1872 près de Las- Salinas dans le nord du Chili. Le modèle a été fabriqué par Carlos Wilson, un ingénieur suédois avec une surface vitrée de 5000 m<sup>2</sup>, produisant jusqu'à 20 m<sup>3</sup> d'eau douce par jour à partir d'une eau saline contenant 140 g/L. Ce système fonctionna jusqu'en 1910 à cause d'un problème d'accumulation rapide des sels dans le bassin, nécessitant un nettoyage régulier du distillateur. La distillation solaire connut une période creuse entre 1880 et la première guerre mondiale. En 1920, Kaush utilisa des réflecteurs en métal pour concentrer les rayons solaires ; il en résulte l'apparition de nouveaux appareils (types toit, couverture en V, plateau incliné...etc.) [23].

### III.3. Définition de la distillation solaire

La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer un liquide dans un bac couvert par une vitre inclinée.

Le liquide dans le bac va se chauffer d'autant plus vite que le bassin est noir et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente. Éventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer les colorants [40].

### III.4. Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire

Les distillateurs solaires utilisent tous le même principe de fonctionnement ; néanmoins, ils peuvent différer les uns d'autres en conception et en matériau. Le fonctionnement d'un distillateur solaire repose sur l'effet de serre [41].

### III.5. Les différents types de distillateurs solaires

#### III.5.1. Distillateurs à simple effet

C'est le distillateur le plus utilisé dans le monde. Il est constitué d'un absorbeur sous forme de bassin horizontal peint en noir (pour absorber le maximum de la radiation solaire) et rempli d'eau salée ou usée. Le tout est couvert d'une vitre transparente en verre, inclinée d'un certain

angle pour transmettre le maximum de la radiation solaire et faciliter l'écoulement des gouttelettes vers une gouttière placée en bas de la vitre. De là, l'eau condensée qui est une eau pure passe au stockage. Pour minimiser les pertes d'énergie de l'absorbeur, un isolant thermique couvre le bas du distillateur

Généralement ce type est simple à construire et à maintenir mais son efficacité reste inférieure à celle d'un distillateur à multiple effets [42].

### III.5.1.1. Distillateur à pente unique

Ce système de distillation est essentiellement constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre, la partie inférieure est recouverte d'un plan d'eau. Sous l'action de flux solaire, transmis par la couverture transparente l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci devient vapeur qui se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensat est récupéré par un récepteur, un appoint d'eau compense le débit distillat.

Les parois latérales et inférieures sont isolées afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur. Le distillateur à pente unique à un capteur unique incliné d'un angle ( $\beta$ ) [43].

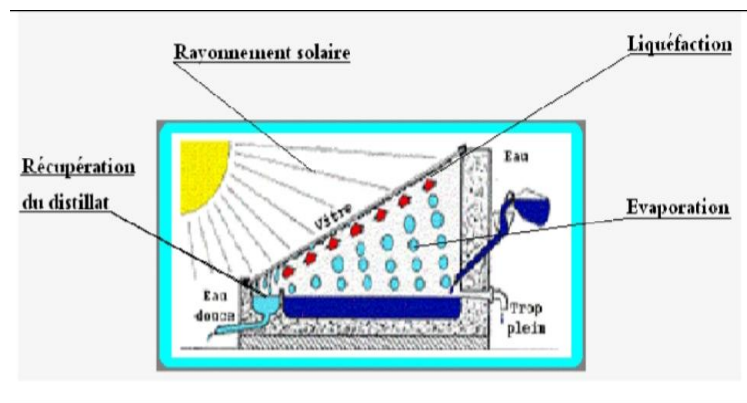
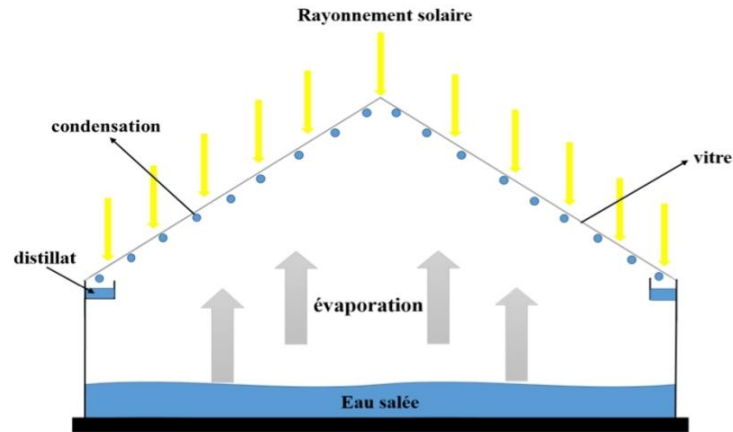


Figure III. 6 : Distillateur solaire simple à pente unique

### III.5.1.2. Distillateur à double pentes

Ce système suit typiquement le principe précédent seulement ce dernier présente deux cotés le 1er est exposé au soleil et l'autre cotée joue le rôle de condenseur qui donne l'avantage de l'accélération de la condensation [44].



**Figure III. 7 : Distillateur à double pente**

### III.5.1.3. Distillateur solaire terre- eau

De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide, de même dans les régions arides. Cette humidité est retournée à l'atmosphère durant la saison chaude pour compléter le cycle hydrologique naturel [41].



**Figure III. 8 : Solaire terre-eau**

### III.5.1.4. Distillateur sphérique à balayage

C'est un distillateur en plexiglas transparent, à bac horizontal, et à surface de condensation demi - sphérique (Figure III.9). Le rayonnement incident transmis par la demi - sphère supérieure pénètre dans le bac et sert, à chauffer la masse d'eau contenue dans celui-ci. Une partie de l'eau s'évapore, et la vapeur dégagée vient se condenser sur la face intérieure de la vitre. Le distillat passe dans la demi-sphère inférieure à travers l'espace annulaire entre le bac et la sphère.

Le balayage de la surface de condensation est réalisé au moyen d'un essuie - glace entraîné par un moteur. L'avantage de ce système de balayage est de maintenir la surface de condensation, constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes [23].



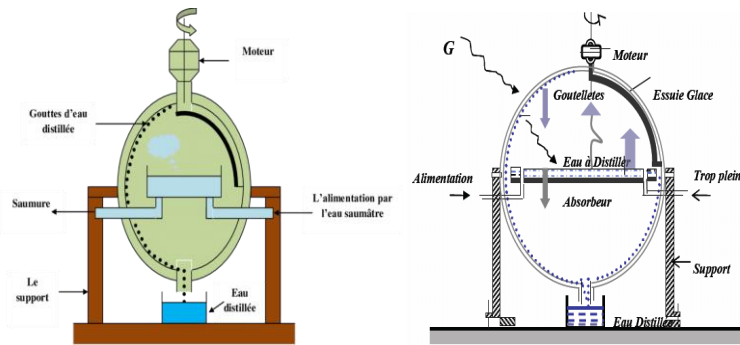


Figure III. 9 : Distillateur solaire sphérique

### III.5.2. Distillateur à multiples effets

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variante entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au cas du procédé précédent, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs.

La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1er effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2ème effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2ème effet et ainsi de suite (Figure III.10). Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (Energie/m<sup>3</sup> d'eau douce produite) [45].

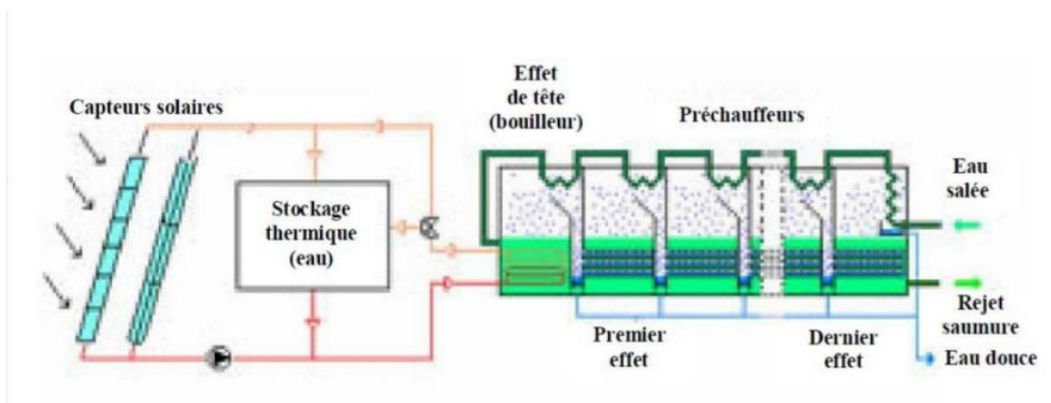


Figure III. 10 : Principe d'un système d'évaporateurs à multiples effets

### III.5.3. Distillateur solaire à film capillaire

L'appareil est formé d'une vitre et de deux plaques métalliques disposées face à face et inclinées d'un certain angle. La face avant de la première plaque est peinte en noir. L'eau à distiller, s'écoule lentement à l'aide d'un tissu sur l'autre côté, ce tissu est convenable pour former un film capillaire d'eau. La vapeur d'eau produite quitte le tissu et va se condenser au contact de la seconde plaque. L'eau distillée et le résidu ont récupérés par des collecteurs [46].

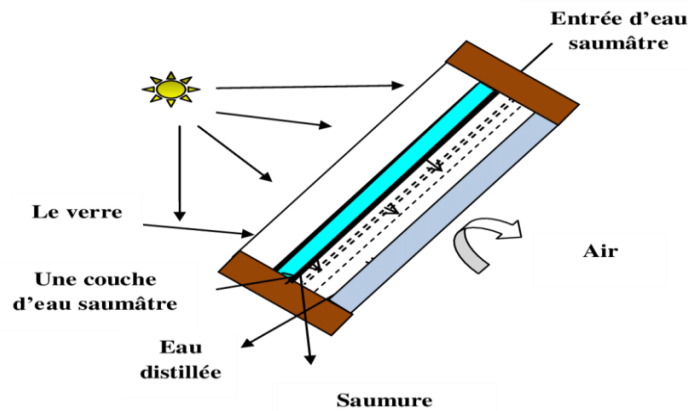


Figure III. 11 : Distillateur solaire à film capillaire

### III.5.4. Distillateur solaire à cascades

Cet appareil présente deux avantages : la lame d'eau est très faible et l'orientation par rapport au rayonnement incident se rapproche davantage de l'optimum, un modèle de ce type n'a été exécuté qu'en petites tailles, ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux [47].

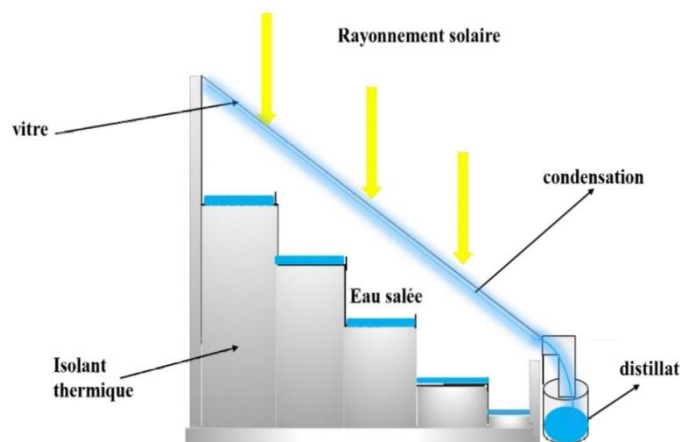


Figure III. 12 : Distillateur à cascade

### III.5.5. Distillateur solaire incliné à mèche

Dans un distillateur à mèche, l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, absorbant les rayonnements (mèche). Deux avantages sont revendiqués sur les distillateurs de bassin. D'abord, la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil (réduisant la réflexion et présentant une grande surface efficace). En second lieu, moins d'eau d'alimentation est dans le distillateur à tout moment donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée [48]. Les distillateurs simples à mèche sont plus efficaces que les distillateurs à bassin et quelques conceptions sont prétendues pour coûter moins qu'un distillateur à bassin du même rendement

L'appareil incliné à mèche permet de maintenir à peu près constante l'épaisseur de la lame d'eau. Le modèle représenté sur la figure III.13, a été essayé pendant quelque temps d'une façon satisfaisante mais il a été très difficile de maintenir une humidité sur les mèches sans points secs [49].

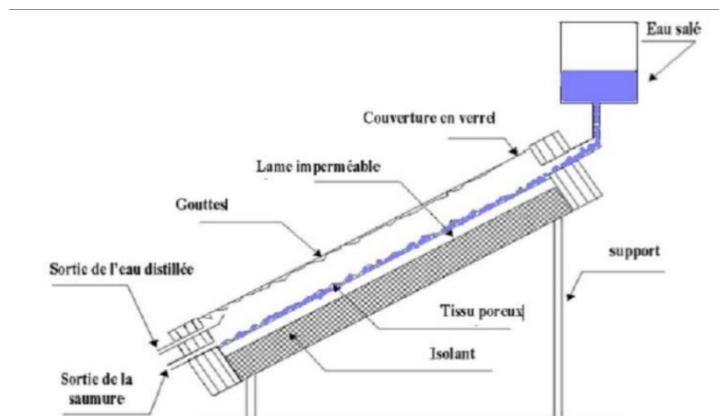


Figure III. 13 : Distillateur solaire à mèche

### III.5.6. Distillateur solaire vertical

Le distillateur solaire vertical est composé :

- D'un capteur solaire permettant la captation du rayonnement solaire.
- D'un compartiment d'évaporation.
- D'un compartiment de condensation.

La figure III.14, présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au

réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau à l'entrée du distillateur est régulé à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant.

Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6).

L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7), s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers les deux ouvertures (8) réalisées dans une cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans la gouttière fabriquée en dessous de la plaque de condensation [50].

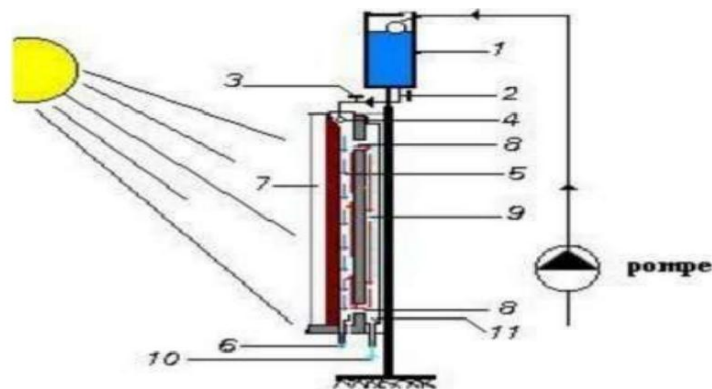


Figure III. 14 : Distillateur solaire vertical

### III.6. Paramètres influents sur la distillation solaire

On peut diviser ces paramètres en deux grands groupes :

- Les paramètres atmosphériques (climatiques et locaux) ;
- Les paramètres de constructions (condenseur, absorbeur, profondeur de l'eau saline...etc.)

#### III.6.1. Les paramètres atmosphériques

##### ❖ La radiation solaire

La production en eau du distillateur solaire dépend essentiellement de l'intensité de la radiation solaire.

### ❖ La température ambiante

La production en eau augmente légèrement quand la température de l'air augmente.

### ❖ La Vitesse du vent

La vitesse du vent est liée à la convection forcée qui se produit au niveau des vitres.

Elle influe proportionnellement sur les températures des vitres, donc elle conduit à une augmentation de l'écart entre les températures de l'eau salée et celle de la vitre, ce qui contribue à l'élévation du taux d'évaporation de l'eau [51].

## III.6.2. Les paramètres de construction

### ❖ La nature de la couverture et son inclinaison

Elle doit être transparente, fabriquée en verre ou en plastique et inclinée par rapport à l'horizontale suivant la latitude de la région. Le verre est préféré au plastique à cause de sa grande transmissivité pour la radiation solaire à haute température, faible transmissivité pour les radiations à basse température, sa haute humidification pour l'eau et sa relative grande stabilité des propriétés physiques durant le temps. Cependant, le verre a un grand inconvénient, c'est celui de son poids et de sa fragilité surtout lors du montage et du transport. Il a été conclu aussi que la couverture ne doit pas être loin de la solution salée [41].

### ❖ L'absorbant

La surface absorbante peut-être construite de plusieurs matériaux (bois, métal, béton, matière synthétique ou en verre ordinaire).

Le choix de la matière de la surface absorbante ou bac noir dépend de son inertie thermique, de la résistance à l'oxydation par l'eau et les dépôts minéraux [51].

### ❖ La Profondeur de l'eau saumâtre dans le bassin

Pour les distillateurs dont la base est thermiquement bien isolée, la différence entre ceux à faible et ceux à grande profondeur de l'eau saumâtre est notable. La faible profondeur de l'eau saumâtre (faible masse d'eau) entraîne l'évaporation rapide à cause de l'énergie importante qui sera absorbée par l'eau saumâtre. La production est d'autant plus importante que la profondeur est faible ; d'autre part, plus la profondeur de l'eau saumâtre est grande, plus longtemps dure la distillation après le coucher du soleil [52].

**III.7. Caractéristiques du distillateur**

Un distillateur solaire à effet de serre est caractérisé par plusieurs grandeurs :

- Le taux de production ;
- L'efficacité ;
- La performance ;
- La pression à l'intérieure du distillateur [53].

---

*Chapitre IV :*  
*Matériel et*  
*méthodes*

---

### IV.1. Matériel utilisé

Le matériel expérimental utilisé dans cette étude consiste en un distillateur solaire fourni par le laboratoire SEA2M de l'Université de Mostaganem [54].

Il se compose des éléments suivants :

- Une couverture verrière
- Un absorbeur d'une surface de 0,41 m<sup>2</sup>
- Un isolant thermique
- Un scellement
- Deux gouttières



**Figure IV. 1 : Schéma du distillateur solaire étudié**

#### IV.1.1. Principe de fonctionnement

L'eau est ajoutée manuellement ou de façon automatique par un système à flotteur. L'énergie solaire traversant les deux vitres externe et interne de l'enceinte du distillateur fait chauffer la solution (Bleu de méthylène+ Rhodamine B) et provoque l'évaporation de l'eau. La vapeur d'eau produite se condense sur la face interne de la vitre qui est relativement plus froide. L'eau condensée ainsi s'écoule dans la gouttière solidaire et est évacuée vers un récipient externe de stockage dédié à cet effet [54].



### IV.2. Méthodes

La méthode consiste à étudier l'effet des paramètres suivants sur le rendement de l'appareil en nombre de litres par mètre carré par heure pendant la durée d'ensoleillement :

- Effet de la concentration de solution du Bleu de méthylène et la Rhodamine B
- Effet des conditions météorologiques

Par ailleurs, en plus de la quantité de l'eau distillée produite exprimée par le rendement, nous avons eu à suivre la qualité de l'eau en mesurant sa conductivité électrique et la concentration des chlorures dans le distillat. Les paragraphes suivants décrivent brièvement la méthode de mesure de la conductivité et le dosage des chlorures.

#### IV.2.1. Conductimétrie

La conductivité électrique explique dans quelle mesure une matière conduit l'électricité. Son unité de mesure est le siemens par mètre. La conductivité dépend de la température, de la pureté de la substance utilisée, notamment. Les liquides et les gaz conduisent aussi l'électricité. Par exemple, la conductivité de l'air à 20 °C est de  $10^{-15}$  S/m et celle de l'eau pure  $5,6 \times 10^{-6}$  S/m tandis que celle de l'eau de mer est de 4,8 S/cm. Pour la mesure de la conductivité, nous avons utilisé un conductimètre de laboratoire. Des échantillons de 20 mL de condensat prélevés chaque heure ont été analysés depuis le commencement de la condensation jusqu'à 18 h.



Figure IV. 2 : Schéma de conductimètre utilisé

### IV.2.2. Spectrophotométrie UV-Visible

Cette méthode est très utilisée vue sa simplicité et que c'est une méthode qui est disponible dans la majorité des laboratoires de chimie.

La spectrophotométrie UV-visible est une méthode de caractérisation basée sur la mesure de la densité optique d'un milieu à une longueur d'onde donnée. Un spectre d'absorption est obtenu lorsque les variations de la densité optique sont représentées en fonction des longueurs d'onde.

Les mesures sont effectuées par un spectrophotomètre. La lumière monochromatique incidente d'intensité  $I_0$  (de puissance  $P_a$ ) traverse alors l'échantillon et l'appareil mesure l'intensité  $I$  de la lumière transmise. D'après la loi de Beer Lambert, la densité optique ( $DO_\lambda$ ) appelée également absorbance ( $A_\lambda$ ) est fonction de la concentration  $C$  de la solution, du coefficient d'absorption molaire et de la longueur du trajet optique [55].

$$A_\lambda = -\log_{10}(I/I_0) = \varepsilon_\lambda * l * C$$

avec:

$I/I_0$  : transmittance de la solution (sans unité).

$A_\lambda$  : absorbance ou densité optique à une longueur d'onde  $\lambda$  (sans unité).

$\varepsilon$  : coefficient d'extinction molaire (en L/mol). Il dépend de la longueur d'onde, la nature chimique de l'entité et la température.



Figure IV. 3 : Schéma de spectrophotomètre utilisé

### IV.2.3. Test des ions chlorure (Cl<sup>-</sup>) par nitrate d'Argent (AgNO<sub>3</sub>)

Le dosage du chlorure s'effectue selon la procédure suivante :

On prépare une solution de nitrate d'argent, sa concentration molaire est 0,01 mol/L

Mise en œuvre pratique du test chlorure.

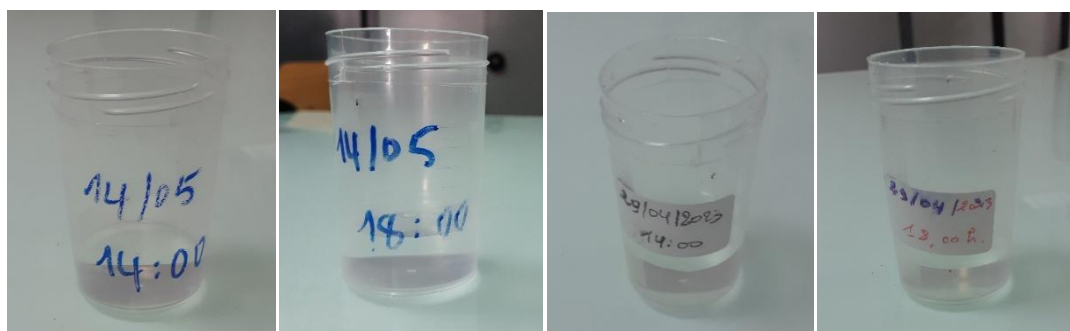
- On prélève un échantillon de solution à tester de quelques millilitres.
- On ajoute quelques gouttes (2 ou 3) de nitrate d'argent (utilisé comme réactif).
- On observe les résultats et vérifie la formation de précipités.

*Interprétation des résultats des tests :*

- Si un précipité blanc se forme, le test est positif et confirme que des ions chlorure ont été détectés en solution.
- Si aucun précipité n'est visible, le test est négatif : cela signifie qu'il n'y a pas d'ions chlorure en solution ou que leur concentration est trop faible pour être détectée (c'est-à-dire que la limite de solubilité n'est pas dépassée ou que la quantité de précipité est trop faible) invisible à l'œil nu).
- Si un précipité de couleur différente se forme, c'est le résultat de la précipitation d'ions argent avec d'autres anions (probablement des halogénures).

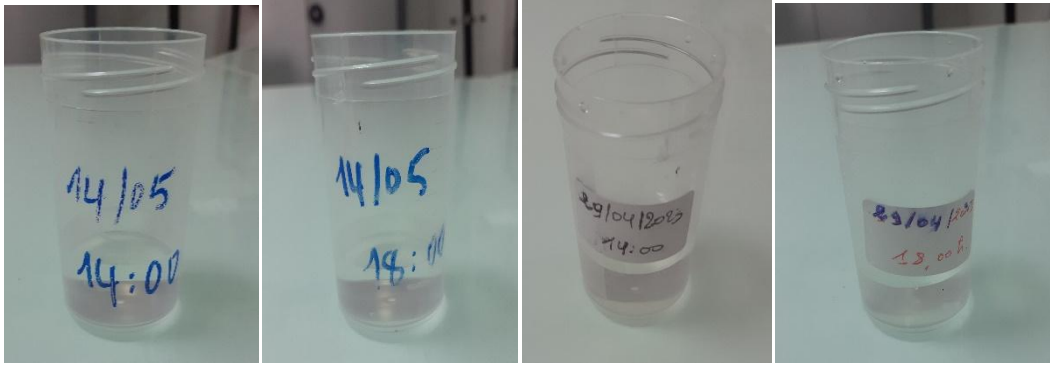
*Illustration :*

**Avant le test :**



**Figure IV. 4 : Condensat avant le test des ions chlorure par le nitrate d'argent**

**Après le test :**



**Figure IV. 5 : Condensat après le test des ions chlorure par le nitrate d'argent**

A partir de la figure IV.5, on constate qu'aucun précipité n'est visible, donc le test est négatif : Cela signifie qu'il n'y a pas d'ions chlorure dans notre condensat ou que leur concentration est trop faible pour être détectée.

---

*Chapitre V :*  
*Résultats et*  
*discussions*

---

**V.1.Effet des conditions météorologiques sur le rendement horaire**

**V.1.1. Paramètres météorologiques et grandeurs physiques relatives au distillateur**

Les conditions météorologiques telles que la température ambiante ( $T_{amb}$  °C), la température de la vitre externe ( $T_{vit-ex}$  °C), l'humidité (Humid %), le refroidissement éolien (R-éolien), la vitesse de vent (V-vent(km/h)) et la direction du vent (D-vent), le point de rosée (P- rosée), la couverture nuageuse (C-nuage), le rendement (mL/h.m<sup>2</sup>), la pression (hPa) ainsi que les paramètres physiques du condensat comme le volume (mL) et la production horaire (RH(mL/h.m<sup>2</sup>)) sont enregistrés pour chaque heure d'ensoleillement. Parmi les résultats obtenus, seuls les résultats du 19 avril 2023 sont présentés dans le Tableau V.1 et les résultats du 3 mai 2023 sont présentés dans le Tableau V. 2.

Nous avons choisi les résultats de ces jours-ci en particulier de distiller du bleu de méthylène à une concentration de 100 mg/L, car le volume de distillation journalier maximum y a été obtenu. Notez que nous utilisons une application dans nos smartphones pour déterminer ces conditions météorologiques.

Ces jours-là, de 8 h à 18 h, 3000 mL d'une solution de bleu de méthylène à 100 mg/l ont été introduits dans l'appareil.

Le tableau suivant (V.1) présente le rendement obtenu pour le BM à 100 mg/L en fonction des conditions météorologiques pour les journées du 19 avril et 03 mai 2023 tandis que le Tableau V.2 se focalise sur le rendement à 13 h.

**Tableau V. 1 : Rendement de l'appareil en fonction des conditions météorologiques pour le BM à 100 mg/L**

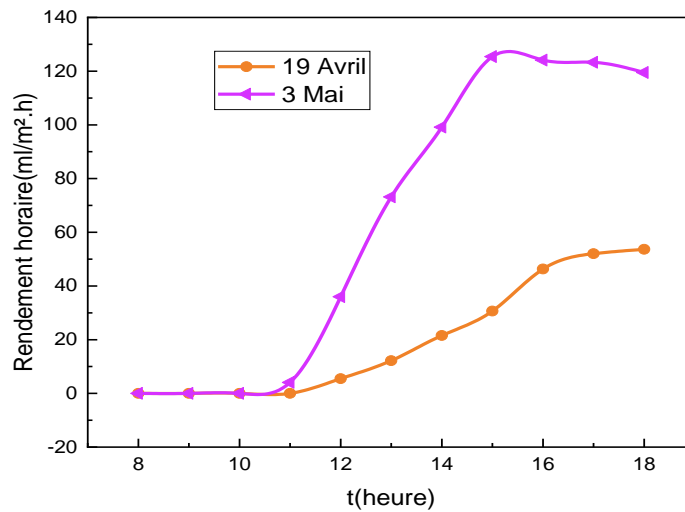
t (heure)	19/04/2023					03/05/2023				
	BM 100 mg/L					BM 100 mg/L				
	C-nuage (%)	V-vent (km/h)	Tvit-ex (°C)	Tamb (°C)	R (mL/(m <sup>2</sup> .h))	C-nuage (%)	V-vent (km/h)	Tvit-ex (°C)	Tamb (°C)	R (mL/(m <sup>2</sup> .h))
8	100	19	20	17	0	13	12	22	20	0
9	100	23	21	17	0	32	10	24	21	0

## Chapitre V : Résultats et discussions

10	100	24	25	17	0	39	12	29	23	0
11	100	21	21	19	0	48	15	29	23	4,07
12	100	23	21	20	5,49	58	19	30	23	36,5 9
13	99	36	22	19	12,20	51	21	30	24	73,17
14	95	36	24	19	21,54	100	24	32	23	99,17
15	94	36	28	19	30,66	100	25	34	23	125,4 4
16	99	55	30	16	46,34	100	23	35	23	124,0 9
17	95	43	29	18	52,03	100	22	34	23	123,3 1
18	92	37	30	18	53,66	100	16	32	23	119,5 1

**Tableau V. 2 : Rendement de l'appareil en fonction des conditions météorologiques à 14h pour le BM à 100 mg/L**

<b>Jour à 13 h</b>	<b>C-nuage (%)</b>	<b>V-vent (km/h)</b>	<b>Tamb (°C)</b>	<b>R (mL/(m<sup>2</sup>.h))</b>
<b>19 Avril 2023</b>	99	36	19	12,2
<b>3 Mai 2023</b>	51	21	24	73,17



**Figure V. 1 : Rendement horaire du distillateur pour deux journées de conditions météo différentes (BM 100 mg/L)**

On peut voir que le rendement à 13 h a changé de **12,20** mL/h.m<sup>2</sup> (19 Avril) où la couverture nuageuse est d'environ 99%, la température de 19 °C, la vitesse du vent de 36 km/h à **73,17** mL/h.m<sup>2</sup> (3 Mai) avec 51% de couverture nuageuse, une température de 24°C et une vitesse de vent de 21 km /h. La couverture nuageuse et la vitesse de vent et la température ambiante influencent considérablement le rendement de l'appareil. On peut conclure que les conditions météorologiques ont un impact important sur le rendement du distillateur solaire.

## V.2. Effet de la concentration initiale sur le rendement horaire

**Tableau V. 3 : Rendement de l'appareil pour différentes concentrations des colorants à 14h et conditions météo**

Concentration (mg/L)	Rendement (mL/(m <sup>2</sup> .h))		Tamb (°C)		C-nuage (%)		V-vent (km/h)	
	BM	Rh-B	BM	Rh-B	BM	Rh-B	BM	Rh-B
50	117,07	93,5	24	23	0	54	29	9
100	21,54	95,93	19	25	95	0	36	12
150	114,15	119,92	22	26	8	29	14	14
200	101,63	131,71	21	26	2	29	13	13



Tableau V. 4 : Rendement en condensat à 14 h versus les conditions météorologiques du mélange

Concentration (mg /L)		Rendement (mL/(m <sup>2</sup> .h) à 14 h	Tamb (°C) à 14 h	C-nuage (%) à 14 h	V-vent (km/h) à 14 h
Rhodamine B	Bleu de méthylène				
50	50	21,14	20	100	30
100	50	106,50	23	95	15
150	50	92,68	21	0	25
200	50	123,98	24	86	23

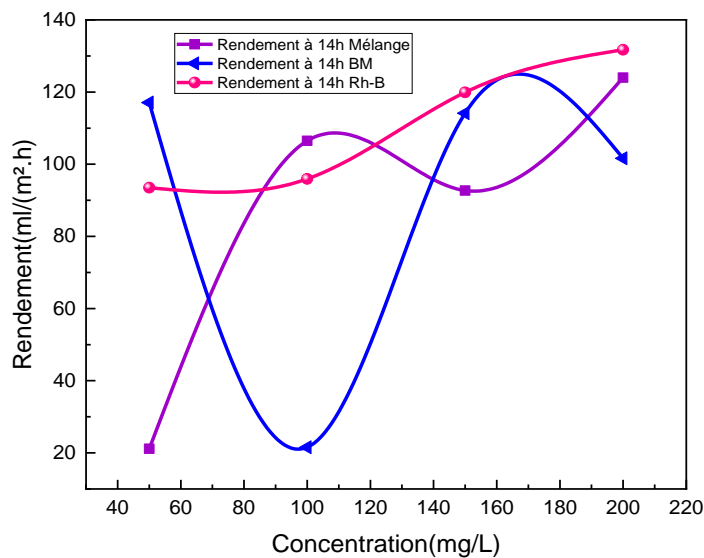


Figure V. 2 : Rendement horaire du distillateur à 14h

**Pour la Rh-B :** le rendement varie de 93,5 à 131,71 (mL/(m<sup>2</sup>.h)), il croît avec l'augmentation de la concentration initiale.

**Pour le BM :** le rendement varie de 21,54 à 117,07 (mL/(m<sup>2</sup>.h)) en fonction des conditions météorologiques entre autres , par exemple à 100 mg/L le rendement est bas parce que la couverture nuageuse était élevée (95 %), mais lorsque la C-nuage est basse, par exemple, pour 2% , le rendement de BM passe à 101,63 (mL/(m<sup>2</sup>.h)).

Ainsi, la couverture -nuageuse influe beaucoup sur le rendement de notre appareil.

**Pour le mélange :** le rendement varie de 21,14 à 123,98 (mL/(m<sup>2</sup>.h)) ; il augmente en fonction de la concentration initiale et les conditions météorologiques , par exemple à 150 mg/L de Rh-B, le rendement est modéré et égale 92,68 (mL/(m<sup>2</sup>.h)) parce que la température ambiante était faible (21 °C), ce qui a affecté le rendement , lorsque Tamb était élevée, par exemple, pour 24 °C, le rendement de mélange était 123,98 (mL/(m<sup>2</sup>.h)).

La température ambiante a aussi un impact important sur le rendement de notre appareil.

### V.3. Conductivité électrique du condensat en fonction de la concentration en colorant

**Tableau V. 5 : Conductivité électrique du condensat (BM et Rh-B)**

Concentration (mg/L)	Conductivité t =0 ( $\mu$ S/cm)		Conductivité à 12h ( $\mu$ S/cm)		Conductivité à 14 h ( $\mu$ S/cm)		Conductivité à 18 h ( $\mu$ S/cm)	
	BM	Rh-B	BM	Rh-B	BM	Rh-B	BM	Rh-B
50	16,2	41,3	46	92,8	31,5	75,3	49,7	109,6
100	29,8	79,7	54,4	72,4	43,6	67,5	68,7	102,2
150	51,0	117,3	78,2	65,5	59,1	53,5	87,0	89,0
200	61,7	144	87,3	60,9	63,9	49,7	90,1	75,3

**Tableau V. 6 : Variation de la température ambiante lors de la manipulation**

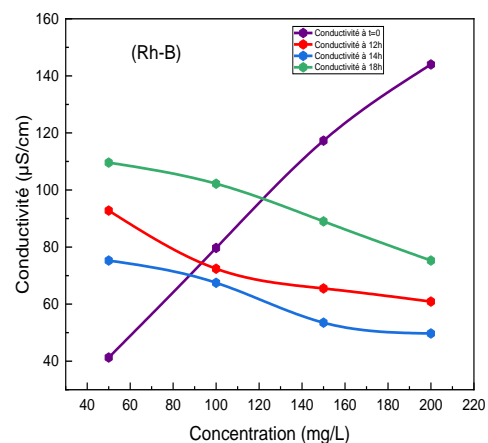
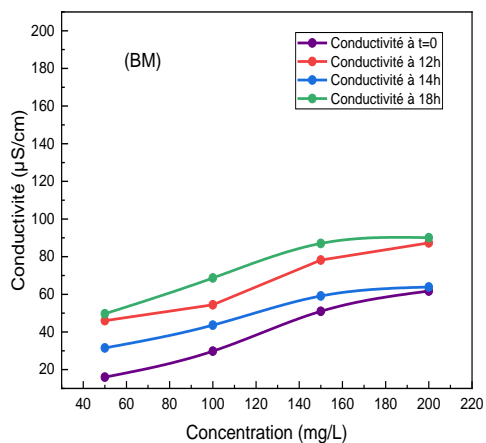
Concentration (mg/L)	T(°C) à t =0		Tamb(°C) à 12h		Tamb(°C) à 14 h		Tamb(°C) à 18 h	
	BM	Rh-B	BM	Rh-B	BM	Rh-B	BM	Rh-B
50	34,5	26,3	19	19	18	18	19	19
100	24,4	26,8	23	23	23	23	23	23
150	24,4	24,8	21	21	22	22	20	20
200	24,6	25,1	21	21	21	21	21	21

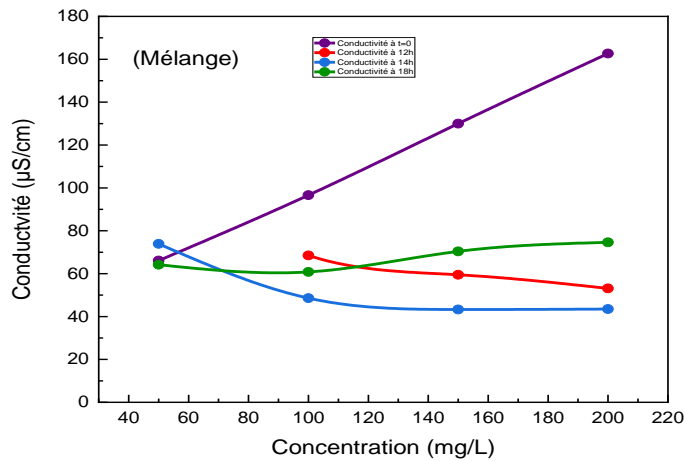
Tableau V. 7 : Conductivité du condensat (Mélange)

Concentration (mg /L)		Conductivité à t =0 ( $\mu\text{S/cm}$ )	Conductivité à 12h ( $\mu\text{S/cm}$ )	Conductivité à 14h ( $\mu\text{S/cm}$ )	Conductivité à 18 h ( $\mu\text{S/cm}$ )
Rhodamine B	Bleu de méthylène				
50	50	66,1	-	73,9	64,2
100	50	96,6	68,5	48,6	60,8
150	50	130,0	59,5	43,3	70,4
200	50	162,7	53,1	43,5	74,6

Tableau V. 8 : Variation de la température ambiante lors de la manipulation (Mélange)

Concentration (mg /L)		T( $^{\circ}\text{C}$ ) à t =0	Tamb( $^{\circ}\text{C}$ ) à 12h	Tamb( $^{\circ}\text{C}$ ) à 14h	Tamb( $^{\circ}\text{C}$ ) à 18 h
Rhodamine B	Bleu de méthylène				
50	50	23,4	21	20	23
100	50	23,2	20	23	22
150	50	23,1	21	21	21
200	50	24,5	25	24	23





**Figure V. 3 : Conductivité électrique du condensat à 14 h pour le BM, Rh-B et le mélange**

**Pour le BM :** En général, la conductivité du condensat de BM est croissante en fonction de la concentration initiale. On note que la conductivité initiale est légèrement inférieure à la conductivité de condensat, qui peut être expliquée par le fait que l'exposition du bleu de méthylène à l'énergie solaire le dégrade et augmente la conductivité de la solution.

**Pour la Rh-B :** En général, la conductivité du condensat de la Rh-B diminue en fonction de la concentration initiale.

A partir de la concentration 150 mg/L, la conductivité initiale devient supérieure à la conductivité du condensat

Donc la concentration initiale de la Rh-B a un impact sur la conductivité du condensat.

**Pour le mélange :** On remarque que la conductivité du condensat à 18 h pour le mélange varie de 64,2 à 74,6 (µS/cm) en fonction de la concentration initiale et elle est inférieure à la conductivité initiale.

#### V.4. Influence de la concentration initiale sur le pH

**Tableau V. 9 : Le pH du condensat (BM et Rh-B) (pH de l'eau distillée = 6,6)**

Concentration (mg /L)	Ph à t=0		Ph à 14h		Ph à 18h	
	BM	Rh-B	BM	Rh-B	BM	Rh-B
50	5,6	3,7	7,1	6,5	7,0	6,3

100	6,5	3,5	6,9	6,4	6,8	6,5
150	6,3	3,4	6,3	6,4	6,2	6,7
200	6,5	3,5	6,4	6,9	6,4	6,7

**Tableau V. 10 : pH du condensat (Mélange)**

Concentration (mg /L)		pH à t=0	pH à 14h	pH à 18 h
Rhodamine B	Bleu de méthylène			
50	50	3,9	6,5	6,3
100	50	3,5	6,4	6,5
150	50	3,3	6,2	5,8
200	50	3,3	5,45	5,35

On note ; en général, que le pH du condensat se rapproche de celui de l'eau distillée initiale, ce qui dénote l'efficacité de la séparation de l'appareil.

### V.5. Influence de concentration initiale (BM et Rh-B) sur l'efficacité de la séparation

#### V.5.1. Calcul de la concentration du condensat (BM et Rh-B)

- **Préparation des solutions filles du BM et Rh-B**

Les solutions filles utilisées sont obtenues par dilution de la solution mère du bleu de méthylène en se basant sur la relation  $C_1V_1=C_2V_2$

La courbe d'étalonnage de colorant a été déterminée à partir des dilutions.

- ❖ A partir de la solution mère de BM de concentration  $C = 50$  mg/L. On prépare 8 solutions filles de différentes concentrations.

Le calcul de ces concentrations se fait de la manière suivante :

Formule de calcul :  $C_m * V_m = C_f * V_f$

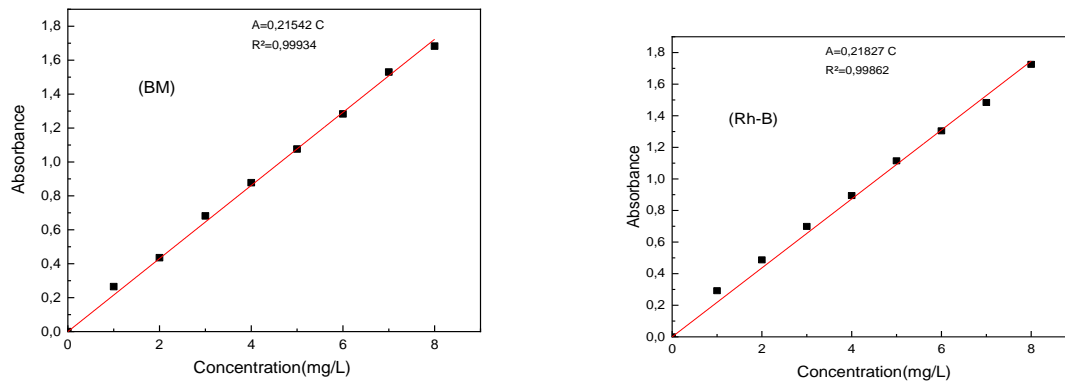
$V_m = (C_f * V_f) / C_m$      $V_f = 50$  mL

Exemple de calcul pour  $C_1=1\text{mg/L}$   $V_1=(1*50)/50=1\text{ mL}$

**Tableau V. 11 : Absorbances obtenues pour l'établissement de la courbe d'étalonnage de BM et Rh-B**

$C_f(\text{mg/L})$	1	2	3	4	5	6	7	8
$V_m(\text{mL})$	1	2	3	4	5	6	7	8
A(BM) $\lambda = 666\text{ nm}$	0,2650	0,4355	0,6821	0,8774	1,0763	1,2833	1,5300	1,6827
A(Rh-B) $\lambda = 555\text{ nm}$	0,2922	0,4874	0,699	0,8946	1,1142	1,3044	1,4837	1,7251

La solution de BM avec une concentration de 50 mg/L et un volume  $V=50\text{ mL}$  à été préparée en mélangeant une quantité appropriée de BM avec l'eau distillée. La solution mère a été convenablement diluée par l'eau distillée à la concentration initiale désirée, (même méthode pour la Rh-B).



**Figure V. 4 : Courbe d'étalonnage du BM et de la Rh-B**

**Pour le BM :**  $C(\text{condensat})=A/0,21542$

**Pour la Rh-B :**  $C(\text{condensat})=A/0,21827$

Tableau V. 12 : Efficacité de la séparation à 14 h (BM et Rh-B)

Concentration initial (mg/L)	BM		Rh-B	
	Concentration de condensat (mg/L) à 14 h	Pourcentage de la séparation (%)	Concentration de condensat (mg/L) à 14 h	Pourcentage de la séparation (%)
50	0,5046	98,99	0,7958	98,41
100	0,3129	99,69	0,5397	99,46
150	0,4294	99,71	0,3807	99,75
200	0,4085	99,80	0,4682	99,77

Le pourcentage de séparation pour les deux colorants augmente en fonction de la concentration initiale et est très élevé.

**Pour BM :** le pourcentage varie de 98,99 % à 99,80%

**Pour Rh-B :** le pourcentage varie de 98,41% à 99,77 %

Le pourcentage à 200 mg/L est presque 100%. Ces résultats montrent que cette technique est très efficace pour séparer ce type de colorants de leurs solutions aqueuses.

#### V.6. Spectre d'absorbance du BM à 50 mg/L et du mélange et des condensats

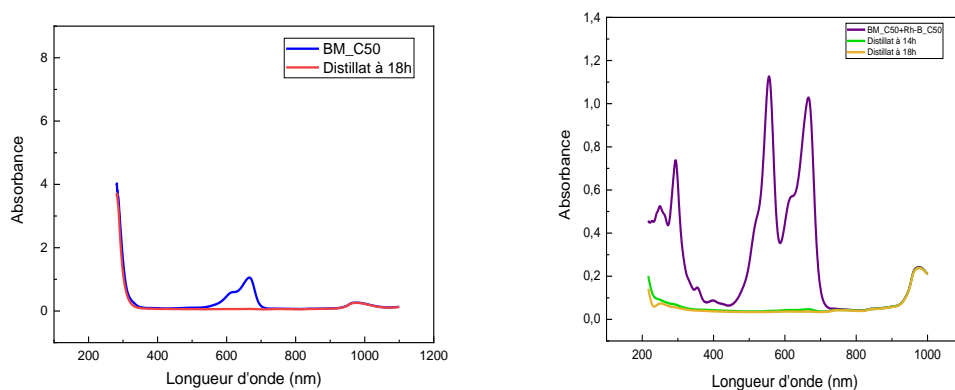


Figure V. 5 : Spectre de balayage UV-Visible (BM et mélange)

## *Chapitre V : Résultats et discussions*

Pour davantage étudier l'efficacité de traitement de cette technique, nous avons obtenu le spectre d'absorbance pour la solution de BM 50 mg/L traitée et non traitée ainsi que pour le mélange BM + Rh-B

**Pour le BM et le mélange :** On constate dans le condensat que l'absorbance est très faible malgré l'absorbance de solution initiale est élevée. Donc il y a une très bonne séparation entre les colorants et le solvant.



# *Conclusion*

### Conclusion

Cette recherche nous a permis d'appliquer nos connaissances en génie des procédés à la pratique, où nous avons utilisé une technique de séparation basée sur l'énergie solaire. Le but de ce travail est la séparation des colorants (BM et Rh-B) de leurs solutions aqueuses. Les principaux résultats de cette étude sont les suivants :

Le rayonnement solaire entrant est le facteur le plus influent sur le comportement de l'appareil.

Les conditions météorologiques ont un impact important sur le rendement de l'appareil solaire.

L'absorbance du condensat obtenu est très faible, presque nulle et le pourcentage de la séparation est presque 100%, prouvant l'efficacité de séparation de l'appareil solaire utilisé.

Les résultats expérimentaux que nous avons obtenus sont encourageants pour l'utilisation des appareils solaires pour traiter les eaux usées industrielles et résoudre certains problèmes causés par l'insuffisance d'eau.

Toutefois, il convient d'analyser plus profondément le condensat afin d'en déterminer exactement les composants.

*Références  
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] Z. Hassi et S. Lechelah, « Synthèse des hydrotalcites et leurs applications dans le traitement des eaux », 2014.
- [2] M. M. M. Melo, E. M. R. Rocha, et E. L. Silva, « Solar heterogeneous photocatalysis (ZnO/UV) for textile dyes removal », *Environ. Qual. Manag.*, vol. 28, n° 1, p. 65-71, 2018.
- [3] G. Crini, « Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review », *Bioresour. Technol.*, vol. 97, n° 9, p. 1061-1085, 2006.
- [4] B. Bestani, N. Benderdouche, B. Benstaali, M. Belhakem, et A. Addou, « Methylene blue and iodine adsorption onto an activated desert plant », *Bioresour. Technol.*, vol. 99, n° 17, p. 8441-8444, 2008.
- [5] A. Welham, « The theory of dyeing (and the secret of life) », *J. Soc. Dye. Colour.*, vol. 116, n° 5, p. 140-3, 2000.
- [6] T. Cattoor, « European legislation relating to textile dyeing », in *Environmental aspects of textile dyeing*, Elsevier, 2007, p. 1-29.
- [7] M. Berkane, « Synthèse de nouveaux matériaux par le procédé sol gel et leur application en ultrafiltration », 2018.
- [8] A. K. Kushwaha, N. Gupta, et M. C. Chattopadhyaya, « Removal of cationic methylene blue and malachite green dyes from aqueous solution by waste materials of *Daucus carota* », *J. Saudi Chem. Soc.*, vol. 18, n° 3, p. 200-207, 2014.
- [9] N. Barka, « l'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel », Thèse doctorat, Université Agadir, Maroc, 2008.
- [10] M. Hamzaoui, B. Bestani, N. Benderdouche « The use of linear and nonlinear methods for adsorption isotherm optimization of basic green 4-dye onto sawdust-based activated carbon », *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 9, n° 4, p. 1110-1118, 2018.
- [11] I. H. Suffet, *Activated carbon adsorption of organics from the aqueous phase*. 1980.
- [12] C. Bauer, P. Jacques, et A. Kalt, « Photooxidation of an azo dye induced by visible light incident on the surface of TiO<sub>2</sub> », *J. Photochem. Photobiol. Chem.*, vol. 140, n° 1, p. 87-92, 2001.

- [13] A. Benaïssa, « Etude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle », 2012.
- [14] F. Z. Saidi, « Elimination du Bleu de Méthylène par des Procédés d'Oxydation Avancée. », 2013.
- [15] Mémoire de master en chimie, « Azzi Izzeddine », Université de Mostaganem, 2014.
- [16] A. Agoudjil, S. Agoudjil, et A. Bendada, « Adsorption d'un colorant bleu de méthylène en solution aqueuse sur un bioadsorbant issu de déchets agricoles écorce d'orange », 2020.
- [17] P. Vanraes et al., « Removal of several pesticides in a falling water film DBD reactor with activated carbon textile: Energy efficiency », *Water Res.*, vol. 116, p. 1-12, 2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.004>
- [18] A. Treinin et E. Hayon, « Absorption spectra and reaction kinetics of NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> in aqueous solution », *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 92, n° 20, p. 5821-5828, 1970.
- [19] S. Merouani, « Dégradation sonochimique de la Rhodamine B en solutions aqueuses: Effets des ions hydrogénocarbonates et carbonates et des matrices complexes », Université de Annaba-Badji Mokhtar, 2010.
- [20] K. Matsubara et al., « ZnO transparent conducting films deposited by pulsed laser deposition for solar cell applications », *Thin Solid Films*, vol. 431, p. 369-372, 2003.
- [21] S. Satcunanathan et H.-P. Hansen, « An investigation of some of the parameters involved in solar distillation », *Sol. Energy*, vol. 14, n° 3, p. 353-363, 1973.
- [22] B. Nasri et A. Benatiallah, « Étude Expérimentale et Optimisation d'un Système de Dessalement Solaire En Milieu Saharien », Université Ahmed Draïa-Adrar, 2019.
- [23] A. Chaker et N. Boukerzaza, « Etude de l'effet des pertes thermiques sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire », 2017.
- [24] F. Yousfi et N. Sahouane, « Etude technico-économique d'un système de pompage photovoltaïque appliquée à un site saharien », Université Ahmed Draïa-ADRAR, 2018.
- [25] N. M. Sedik, « Etude des paramètres impactant sur le rendement d'un capteur solaire », Mém. Master Univ. Sci. Ing. D'Annaba Badji Mokhtar Algérie., 2018.
- [26] E. Schiller et B. S. Sy, « Le pompage photovoltaïque, manuel de cours à l'intention des ingénieurs et des techniciens », Univ. d'Ottawa, vol. 1, 1998.

- [27] M. S. Guney, « Solar power and application methods », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 57, p. 776-785, 2016.
- [28] A. K. Shukla, K. Sudhakar, et P. Baredar, « A comprehensive review on design of building integrated photovoltaic system », *Energy Build.*, vol. 128, p. 99-110, 2016.
- [29] A. Jamar, Z. A. A. Majid, W. H. Azmi, M. Norhafana, et A. A. Razak, « A review of water heating system for solar energy applications », *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol. 76, p. 178-187, 2016.
- [30] L. Chen, F. Meng, et F. Sun, « Thermodynamic analyses and optimization for thermoelectric devices: The state of the arts », *Sci. China Technol. Sci.*, vol. 59, p. 442-455, 2016.
- [31] F. Nemchi, B. Bestani, N. Benderdouche, M. Belhakem, et L. C. de Minorval, « Adsorption of Supranol yellow 4GL from aqueous solution onto activated carbons prepared from seawater algae », *Adsorpt. Sci. Technol.*, vol. 30, n° 1, p. 81-95, 2012.
- [32] R. Desjardins, « Le traitement des eaux. 2<sup>eme</sup> édition », Ed L'école Polytech. Montr., 1997.
- [33] C. Audigie, G. Dupont, et F. Zonszain, « Principes des méthodes d'analyse biochimique », 1985.
- [34] K. Zouggar et N. Guennoune, « Conception d'un montage de filtration sur sable appliqué au traitement des eaux potables », université Akli Mouhand Oulhadje-Bouira, 2017.
- [35] B. A. Bidlingmeyer, *Practical HPLC methodology and applications*. John Wiley & Sons, 1993.
- [36] A. Afren, « Etude expérimentale de l'effet de sel  $MgCl_2$  sur l'équilibre liquide-liquide du système binaire Eau+ Butanone ».
- [37] V. Leppänen, « Purification and repossession of methanol in a polymer synthesis process by fractional distilling », 2021.
- [38] L. R. K. Noura, « Synthèse, caractérisation et étude catalytique de quelques imines dérivées de DHA », faculté des sciences et de la technologie univ bba, 2022.
- [39] J. Brennan, « Board 37: Work-in-Progress: Conceptual Activities for Separations Courses », in 2018 ASEE Annual Conference & Exposition, 2018.

- [40] O. Halloufi, « étude de la performance d'un distillateur solaire par un system de préchauffage solaire de l'eau saumâtre », Magister En Génie Clim. Univ. Mantouri Constantine, 2010.
- [41] B. A. Z. El Abdine, « Amélioration de la capacité de l'absorbeur d'un distillateur solaire simple par l'ajout d'une couche de sable », Mém. Master En Génie Chim. Univ. Kasdi Merbah Ouargla 2012 P 6 8, vol. 10, 2012.
- [42] H. Boutebila et L. Hadjadj, « Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole », 2017.
- [43] L. Cherrared, « Amélioration du rendement d'un distillateur solaire à effet de serre », Rev. Energ. Renouvelables Valoriz., p. 121-124, 1999.
- [44] A. Sadi, « Le Dessalement: Procédés et Energie Solaire », Div. Therm. Sol. CDER Alger Bull., n° 6, 2004.
- [45] O. Charrouf, « Optimisation d'un système de dessalement renouvelable », Université Mohamed Khider-Biskra, 2012.
- [46] M. Zerrouki, Y. Marif, M. Belhadj, et N. E. Settou, « Simulation et expérimentation d'un distillateur solaire à film capillaire dans le sud Algérien », Ann. Sci. Technol., vol. 4, n° 1, p. 12-12, 2012.
- [47] K. Geundouz, R. Memmi, et M. Announ, « Simulation par CFD du refroidissement par utilisation des nanofluides dans un échangeur de chaleur coaxial. », 2020.
- [48] R. Bensilette et S. Aribi, « Evaluation du modèle de DUNCLE pour un distillateur solaire conventionnel réalisé à M'sila (validation avec des essais expérimentaux à M'sila) », Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2020.
- [49] A. Maurel, Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce. Éditions Tec & Doc, 2001.
- [50] R. Tripathi et G. N. Tiwari, « Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation », Desalination, vol. 173, n° 2, p. 187-200, 2005.
- [51] T. Ismail, « Etude d'un distillateur solaire à cascade », Mém. Magister Univ. Mentouri Constantine, 2010.
- [52] Y. Foutia et M. Djelmami Hani, « Amélioration des performances d'un distillateur solaire avec nanoparticule «étude expérimentale », 2021, جامعة غرداية.

## *Références bibliographiques*

- [53] A. Ameer et R. Ait Allaoua, « Etude et réalisation d'un distillateur solaire », Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2016.
- [54] Bendida Djamila, Bennedjar Nabila « Distillation solaire de l'eau de mer brute et diluée », Master génie chimique à université de Mostaganem 2021.
- [55] M. Haddou, « Dégradation de dérivés de l'acide benzoïque par les procédés d'oxydation avancée en phase homogène et hétérogène: procédés Fenton, photo-Fenton et photocatalyse », Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2010.